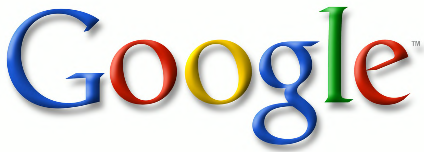


GRUNDRISS

DER

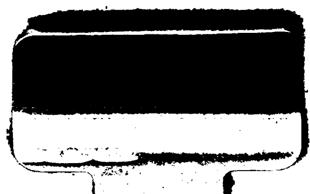
ELEKTROTECHNIK

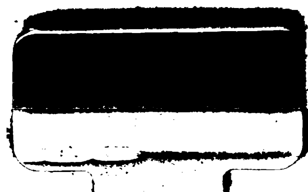
Verfasst von

HEINRICH KRATZERT.

II. Theil, 3. Buch.

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE





GRUNDRISS
DER
ELEKTROTECHNIK.

Für den praktischen Gebrauch,
für Studierende der Elektrotechnik und
zum Selbststudium.

Verfasst von

Heinrich Kratzert,

Ingenieur und k. k. Professor für Elektrotechnik an der Fachschule für Elektrotechnik
der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X.

II. Theil, 3. Buch.

2. Auflage.

Kraftübertragung, Bahnen und Automobile, Kosten elektrischer Anlagen und Sicherheitsvorschriften.

Mit 149 Abbildungen.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1901.

Verlags-Nr. 755.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die Quellen für das 3. Buch des II. Theiles, des Grundrisses der Elektrotechnik (Kraftübertragung, Bahnen und Automobile, Kosten elektrischer Anlagen und Sicherheitsvorschriften) sind außer den Fachzeitschriften insbesondere die Werke, beziehungsweise Schriften von Louis Bell (Gustav Rasch), Max Corsepius, Ludwig Czischek, Ernst Egger, Karl Hochenegg, Gisbert Kapp, Fritz Loose, P. Poschenrieder, Max Schiemann, Ludwig Spängler, Adalbert von Waltenhofen u. A.

Das 3. Buch, II. Theil umfasst die folgenden Kapitel:

I. Kapitel (S. 1—40). Kraftübertragung im Allgemeinen: Geschichte, Begriffe, Güteverhältnis, Berechnung, Gesetze, Zugkraft der Motoren, Geschwindigkeitscharakteristik, Regulierung der Gleichstrommotoren, Kraftübertragung mit Wechselstrom, Wechselstrommotoren, Ersparnis an Leitungsmaterial bei Wechselstromleitungen, Antrieb in Werkstätten und Aufzüge.

Dieses Kapitel erscheint im Vergleiche zur ersten Auflage gänzlich umgearbeitet und bedeutend vermehrt.

II. Kapitel (S. 40—184). Elektrische Eisenbahnen und Automobile: Geschichte, Oberleitungsmaterialien, Bügel- und Rollenkontakt, Systeme, Wahl des Systemes, Wagen, Wagenmotor, Übertragungsmechanismen, Schaltung und Regulierung des Motors, Kontroller, Wagenschaltungen, Bremsen, Stromvertheilung, Unterstationen, Kraftstationen, Schienenrückleitung, Widerstands- und Spannungsabfallmessungen, Wechselstrombahnen, Gleichstrom-Wechselstromsysteme, Vorzüge der elektrischen Bahnen, Untergrundbahnen, Schwebebahn, Stufenbahn, Omnibus, Automobile, Automobile auf Vollbahnen und elektrischer Betrieb auf Vollbahnen.

Nur die §§ über Geschichte, Bügel- und Rollenkontakt und Systeme wurden nach der alten Auflage umgearbeitet. Alle übrigen §§ sind neu aufgenommen und repräsentieren neueste Errungenschaften der Elektrotechnik.

III. Kapitel (S. 184—195): Kosten der elektrischen Licht- und Kraftanlagen.

Anhang (S. 196—260). Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen, Mittel- und Hochspannungsanlagen, Starkstromanlagen (Wien). Sicherheitsvorschriften für Bahnanlagen, Hilfeleistung bei Unfällen und Tabellen.

Namen- und Sachverzeichnis (S. 271).

Die Arbeit soll einen zeitgemäßen Überblick über die Kraftübertragung im allgemeinen und über Bahnen und Automobile im besonderen geben.

Wien, Feber 1901.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

Kraftübertragung.

Anhang.

Kraftübertragung.

I. Kapitel.

Die Kraftübertragung im Allgemeinen.

1. Geschichte. Bis in die neueste Zeit kannte man nur drei Systeme der Übertragung von Kraft auf große Entfernungen u. zw.:

1. Die hydraulische Kraftübertragung.
2. Die pneumatische Kraftübertragung.
3. Die Kraftübertragung mittelst Drahtseilbetrieb (Hirn 1850).

Den ersten praktischen Versuch, die Elektricität als Triebkraft zu benützen, machte Moritz Hermann Jacobi (1838), indem er mittelst eines Elektromotors von $^3/_4$ bis 1 *HP* ein Boot auf der Newa in Bewegung setzte. Der erste öffentliche Versuch einer elektrischen Kraftübertragung auf große Entfernungen wurde von Hypolit Fontaine auf der Weltausstellung in Wien (1873) erdacht und ausgeführt. Im Jahre 1882 unternahm Marcel Deprez, gelegentlich der elektrischen Ausstellung in München, eine Kraftübertragung von etwa 5 *HP* auf 5·5 *km* von Miesbach nach München (Glaspalast). Das Güteverhältnis dieser Versuchsanlage, sowie der im Jahre 1886 von demselben Forscher zwischen Creil und Paris ausgeführten, blieb so weit zurück, dass an eine praktische Ausnützung derselben nicht gedacht werden konnte. Diesen Übelstand behob im Jahre 1887 C. E. L. Brown durch die elektrische Kraftübertragung von 50 *HP* auf 8 *km*, mit einem Güteverhältnis von 75% zwischen Kriegstetten und Solothurn zur außerordentlichen, dauernden Zufriedenheit der Besteller. Der kühnste Versuch einer elektrischen Kraftübertragung fand im Jahre 1891 anlässlich der Internationalen elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. statt, wohin aus Lauffen a. N. 300 *HP* auf eine Entfernung von 175 *km* übertragen wurden.

2. Begriff. Das Wesen der elektrischen Kraftübertragung besteht darin, dass man die Elektricität an einem bestimmten Orte erzeugt, sie von diesem Orte aus auf beliebig weite Entfernungen leitet·

und dort entweder direkt oder indirekt für die verschiedensten Zwecke des praktischen Lebens verwertet. Direkt kann die Elektricität zur elektrischen Beleuchtung, zu elektrochemischen Zwecken, zur elektrischen Heizung, Schweißung, Schmelzung, Zündung, in der Telegraphie, Telephonie, im Signalwesen u. s. w., indirekt zum Antriebe von Elektromotoren Verwendung finden. Der Elektromotor besorgt dann, sowie jeder Motor überhaupt, den Antrieb von elektrischen Wägen (Vollbahnen, Strassenbahnen), Automobilen, Motorcycles, Grubenlokomotiven, Schiffen, Werkstätten, Werkzeugmaschinen, Fahrstühlen, Krahnen, Nietmaschinen,

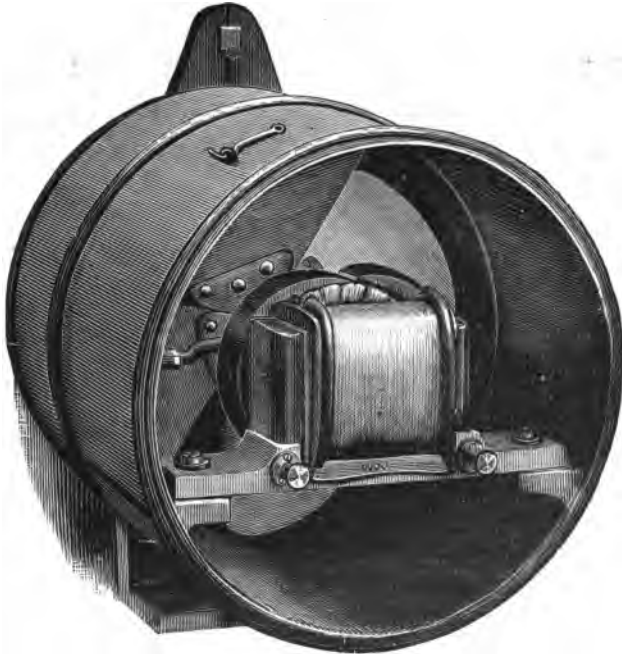


Fig. 1. Ventilator.

Hämmern, Hebemaschinen, Schiebebühnen, Pumpen, Feuerspritzen, landwirtschaftlichen Maschinen, Gesteinsbohrern, Miniermaschinen, Blasebälgen, Ventilatoren, Exhaustoren, Nähmaschinen, Fächern, Kaffeemühlen, Pferdebürsten und jeder Maschine überhaupt.

Das Bild, Fig. 1, stellt eine Konstruktion eines K-Motors (I. Th., 2. B., S. 284) sammt Ventilator der Firma Siemens & Halske A.-G. dar. Auf der Welle des Motors sitzen die Flügel des Ventilators. Der Motor erscheint auf einem Holzbrett aufmontiert, welches mit Ansätzen im Inneren des gusseisernen Gehäuses verschraubt ist.

Schickt man bei den in der Figur ersichtlichen Klemmen Strom in den Motor, so lauft derselbe an und setzt den Ventilator in Thätigkeit.

Treibt man eine Dynamomaschine an, so gibt dieselbe Strom, schickt man umgekehrt in eine Dynamomaschine Strom, so lauft dieselbe an und gibt Kraft (I. Th., 1. B., S. 76). Ein- und dieselbe Dynamomaschine kann demnach sowohl als Stromerzeuger, als auch als Kraftgeber Verwendung finden. Damit ergibt sich die folgende Anordnung einer Kraftübertragung, Fig. 2. Den Stromkreis einer Dynamomaschine schließt ein in der Ferne befindlicher Elektromotor, welcher zur Abgabe von Kraft an eine weitere Dynamo- oder sonstige Maschine dienen kann. Ein Hauptstromregulator reguliert die Stromverhältnisse in dem

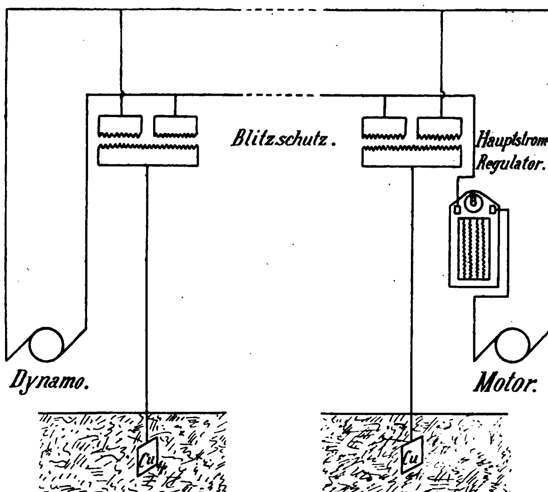


Fig. 2. Schaltungsschema einer Kraftübertragung.

Stromkreise zwischen Dynamo und Motor, während Blitzschutzvorrichtungen die Anlage vor Blitzschlägen sichern.

Die elektrische Kraftübertragung besteht somit in der Übertragung einer Arbeit von einem Orte nach e i n e m zweiten Orte oder nach m e h r e r e n anderen Orten; sie stellt daher entweder eine Übertragung oder eine Übertragung und Vertheilung von Arbeit dar. Ganz außerordentliche Vortheile bietet die elektrische Kraftübertragung in der Vertheilung der Arbeit. Als es sich z. B. im Jahre 1888 um den Antrieb der Ventilatoren und Exhaustoren im neuen Wiener Rathhause handelte, zeigte es sich, dass zur Lösung der gestellten Aufgabe nur der Elektromotor berufen sei; alle anderen Antriebe, z. B. mittelst Dampf, Gas, Wasser und so weiter, waren wirtschaftlich ausgeschlossen.

Bei elektrischen Kraftanlagen gestaltet sich insbesondere die Bedienung außerordentlich einfach. Bei der eben genannten Anlage z. B. werden die Ventilatoren und Exhaustoren von einem Schaltbrette aus, das sich etwa im Mittelpunkte derselben befindet, in Thätigkeit gesetzt. Auf dem Schaltbrette sind Ausschalter und Stromzeiger aufmontirt. Schließt man auf dem Schaltbrette, durch das Einschalten eines Ausschalters, den Stromkreis eines Elektromotors, so lauft derselbe an. Aus den Angaben des Stromzeigers kann man leicht ersehen, ob der Elektromotor lauft und mit welchen Umdrehungen oder ob derselbe still steht. Beim Einschalten zeigt der Stromzeiger eine sehr hohe Stromstärke an; sobald der Elektromotor lauft, sinkt diese Stromstärke, so dass sich mit der normalen Umdrehungszahl auch die normalen Stromverhältnisse einstellen. Einen rechnerischen Aufschluss über die Stromverhältnisse bei einer Kraftübertragungsanlage sollen die folgenden Beispiele wiedergeben.

Beispiel: Ein Elektromotor im neuen Wiener Rathhause zu etwa 4 *PS* hat einen inneren Widerstand von rund 0·38 Ohm, der Widerstand in der primären Dynamo beträgt etwa 0·003 Ohm, der Widerstand zwischen Dynamo und Motor etwa 0·007 Ohm, die elektromotorische Kraft der Primärdynamo 100 Volt; wie hoch stellt sich unter diesen Angaben die Stromstärke im Augenblicke des Einschaltens?

Die Stromstärke ergibt sich aus dem Ohm'schen Gesetze

$$A = \frac{V}{O} = \frac{100}{0{\cdot}38 + 0{\cdot}007 + 0{\cdot}003} = 256 \text{ Ampère.}$$

Die Stromstärke in dem gemeinsamen Stromkreise zwischen Dynamo und Motor beträgt demnach im Augenblicke des Einschaltens 256 Ampère. Da den Elektromotor normal 35 Ampère durchfließen, würden bei 256 Ampère die Sicherungen zwischen Dynamo und Motor augenblicklich abschmelzen oder die Wickelungen des Elektromotors Schaden leiden, wenn der Motor nicht augenblicklich anlauft. Zur Vermeidung dieser Gefahr verwendet man in dem genannten Stromkreise einen Hauptstromregulator (Anlasswiderstand, Anlassapparat, Regulierwiderstand), Fig. 2. Wie dieser Widerstand bemessen sein muss, soll das folgende Beispiel lehren:

Beispiel: Welchen Widerstand hat ein Anlassapparat, welcher unter den Angaben des letzten Beispieles die Stromstärke von 256 Ampère auf 80 Ampère herabsetzt?

In diesem Falle muss der Widerstand des Gesammtstromkreises

$$O = \frac{V}{A} = \frac{100}{80} = 1{\cdot}25 \text{ Ohm sein.}$$

Da nach dem letzten Beispiele der Widerstand des Gesammtstromkreises 0·39 Ohm beträgt, ergibt sich ein Anlasswiderstand von 1·25 — 0·39 = 0·86 Ohm.

Sobald der Motor anlauft, entwickelt derselbe eine elektromotorische Kraft von der entgegengesetzten Richtung derjenigen der Primärmaschine; von jetzt an gelten die obigen Rechnungen nur dann, wenn man anstatt der elektromotorischen Kraft der Primärmaschine die Differenz der elektromotorischen Kräfte der Primär- und Sekundärmaschine einsetzt. Diese Überlegung führt zur Lösung des nächsten Beispieles.

Beispiel: Welchen Wert erhält die Stromstärke in dem obigen Stromkreise, bei gänzlich ausgeschaltetem (kurzgeschlossenem) Anlasswiderstande und einer elektromotorischen Kraft des Motors von 90 Volt?

$$A = \frac{V}{O} = \frac{100 - 90}{0{\cdot}39} = 25{\cdot}6 \text{ Ampère.}$$

Die Stromverhältnisse einer Kraftanlage stellen sich demnach folgendermaßen: Beim Einschalten hat man in dem Anlasser soviel Widerstand einzuschalten, dass die Stromstärke annähernd den doppelten oder dreifachen normalen Wert erhält; dieser Widerstand soll dem Gesammtwiderstande des Anlassers gleich sein. Sobald der Elektromotor anlauft, schaltet man allmählich Widerstand aus, bis der Anlasser ausgeschaltet, d. h. kurzgeschlossen erscheint. Der letzte Fall tritt mit dem normalen Laufe des Motors ein. Der Anlasswiderstand muss während des Betriebes ausgeschaltet sein, weil derselbe, dem Ohm'schen Gesetze entsprechend, Strom verbraucht.

Beispiel: Wieviel *PS* verbraucht ein Anlasser in einem Stromkreise von 125 Ampère, wenn in demselben 0·5 Ohm eingeschaltet sind?

Dieser Regulator tilgt eine Spannung

$V = A \,.\, O = 125 \,.\, 0{\cdot}5 = 62{\cdot}5$ Volt oder eine elektrische Leistung von

$62{\cdot}5$ Volt . 125 Ampère $= 7812{\cdot}5$ Voltampère oder $7812{\cdot}5 : 736 = 10{\cdot}61$ *PS.*

3. Güteverhältnis. Das elektrische Güteverhältnis einer Kraftübertragung vergleicht die an der primären und sekundären Maschine geleisteten elektrischen Arbeiten. E sei die elektromotorische Kraft in der primären Maschine, e jene in der sekundären Maschine und i die Stromstärke in der Zwischenleitung.

Es sind hier zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Primäre und sekundäre Maschinen haben Serienschaltung; dann ist das Güteverhältnis

$$G = \frac{e \,.\, i}{E \,.\, i} = \frac{e}{E}.$$

Diese Gleichung nennt man das Gesetz von Siemens.

2. Primäre und sekundäre Maschinen sind Nebenschluss- oder gemischtgeschaltete Maschinen. Finden in diesem Falle in der Leitung Stromverluste statt, so haben die Ströme in den beiden Maschinen verschiedene Werte. Bezeichnet man dann die Ankerströme mit i_1 und i_2, so ergibt sich das Güteverhältnis aus der Gleichung

$$G_e = \frac{e \,.\, i_2}{E \,.\, i_1}.$$

Beispiel: Welchen Wert hat das elektrische Güteverhältnis einer Nebenschlussmaschine unter Berücksichtigung der folgenden Angaben? Angaben: Elektromotorische Kraft der primären Maschine = 110 Volt, elektromotorische Kraft der sekundären Maschine = 100 Volt, primärer Ankerstrom = 32 Ampère, sekundärer Ankerstrom = 30 Ampère.

$$G_e = \frac{100 \,.\, 30}{100 \,.\, 32} = 0{\cdot}85 \text{ oder } 85\%.$$

Das mechanische Güteverhältnis stellt das Verhältnis der Pferde, welche die sekundäre Maschine abgibt $P_2\,S_2$, zu jenem, welche die primäre Maschine aufnimmt $P_1\,S_1$ dar. D. h.

$$G_m = \frac{P_2\,S_2}{P_1\,S_1}.$$

Beispiel: Wie groß ist das mechanische Güteverhältnis einer Kraftübertragung, wenn die sekundäre Maschine 20 $P_2 S_2$ abgibt, während die primäre Maschine 25 $P_1 S_1$ aufnimmt?

$$G_m = \frac{20}{25} = 0{\cdot}80 \text{ oder } 80\%.$$

4. Berechnung der Kraftübertragung. Die Berechnung der Kraftübertragung umfasst die Berechnungen der Leistung des Motors, des Spannungsverlustes in der Leitung, der Leistung der Dynamo und der Leistung des die Dynamo antreibenden Motors. Als Erläuterung dieser Berechnungen seien die folgenden Beispiele angeführt:

Beispiel: Welche Leistungen haben Elektromotor, Dynamomaschine und Antriebmotor einer Kraftübertragungsanlage, wenn der Elektromotor 80 *PS* abzugeben hat, in den Leitungen 2% der Leistung des Elektromotors verloren gehen und die Güteverhältnisse des Elektromotors und der Dynamo je 80% betragen?

1. Stromverbrauch des Elektromotors. Der Elektromotor soll 80 *PS* leisten; das sind

736 . 80 = 58880 Voltampère. Da das Güteverhältnis des Elektromotors 80% beträgt, verbraucht derselbe

$$58880 \cdot \frac{100}{80} = 73600 \text{ Voltampère.}$$

2. Stromverbrauch in der Leitung. Nach Annahme gehen in der Leitung 2% des Stromes, welchen der Elektromotor verbraucht, verloren, d. h. der Stromverlust in der Leitung hat den Wert

$$73600 \cdot \frac{2}{100} = 1472 \text{ Voltampère.}$$

3. Leistung der Dynamo. Die Dynamo muss 73600 Voltampère für den Elektromotor und 1472 Voltampère für den Stromverbrauch in der Leitung abgeben. Die Leistung der Dynamo stellt sich somit auf

$$73600 + 1472 = 75072 \text{ Voltampère.}$$

4. Leistung der Dampfmaschine. Da nach Annahme 80% der Leistung der Dampfmaschine in der Dynamo in Strom umgesetzt werden, muss die Dampfmaschine

$$75072 \cdot \frac{100}{80} = 93840 \text{ Voltampère leisten.}$$

Mit Berücksichtigung der Beziehung 1 *PS* = 736 Voltampère (I. Th., 1. B., S. 26) ergeben sich somit

93840 : 736 = 127·5 *PS* als effektive Leistung der Dampfmaschine.

5. Ansprüche, welche an die Kraftmaschinen gestellt werden:

1. Möglichkeit der Aufstellung des Motors an jedem beliebigen Orte.
2. Keine behördliche Genehmigung zur Aufstellung.
3. Möglichste Gefahrlosigkeit und Sicherheit des Betriebes.
4. Geringer Raumbedarf.
5. Einfache Bauart und Wirkungsweise.
6. Geringe Wartung.

7. Kein Geräusch, Rauch, Ruß, Geruch u. s. w.
8. Billigster Anschaffungspreis.

In allen diesen Punkten ist der Elektromotor allen anderen Motoren mindestens gleichwertig.

6. Ableitung der Gesetze einer elektrischen Kraftübertragung mittels Gleichstrom.[1]) Denken wir uns der Einfachheit halber die elektrische Kraftübertragung zwischen zwei Serien-Gleichstrommaschinen durchgeführt. Der Strom der einen Maschine, der primären oder Dynamomaschine, wird in die zweite Maschine, den Motor, geleitet, um daselbst seine Energie (Arbeit) in mechanische Energie umzusetzen. Wir wollen uns diese Verhältnisse durch ein einfaches Schema, Fig. 3, veranschaulichen. Die Dynamomaschine veranschaulichen wir uns durch eine nordmagnetische Masse *m*, welche sich in kreisförmiger Bahn um einen geraden Leiter L bewegt. Bei dieser Bewegung wird im Leiter L ein Strom induciert, wir nennen ihn J_o. Die Verhältnisse an diesem einfachen Apparat sind also ähnlich denen, welche bei einer Dynamomaschine vorliegen. Den erzeugten Strom J_o leiten wir mit Hilfe der Leitung R in einen zweiten geradlinigen Leiter L_1. Die äußere Arbeit, welche der Strom J_o beim Durchfließen des Leiters L_1 leisten soll, sei die, dass er eine nordmagnetische Masse m_1 in kreisförmiger Bahn mit dem Radius r um den Leiter herumführt. Die Richtung der Drehung der Masse m_1 um den Leiter L_1 stimmt bei der Annahme, dass der Strom J_o in der Dynamo und im Motor im eingezeichneten Sinne fließt, mit der Bewegungsrichtung der sich um den Leiter L bewegenden Masse m überein, eine Thatsache, welche leicht aus der Ampère'schen Rechten-Hand-Regel (I Th., 1. B., S. 46) folgt. Dieser Strom J_o bleibt aber nicht bestehen, denn wenn sich die magnetische Masse m_1 um den Leiter L_1 dreht, erzeugt sie einen Strom i, der die entgegengesetzte Richtung von J_o hat. Es fließt jetzt in der Leitung nicht mehr der Strom J_o, sondern die Differenz

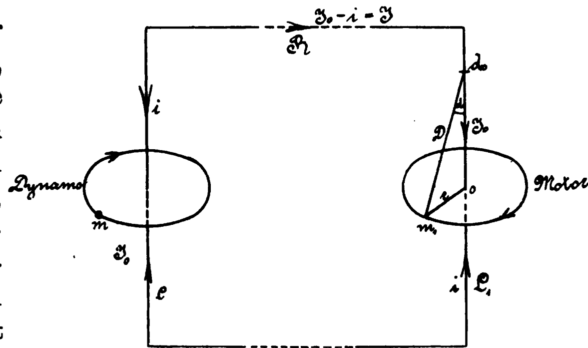


Fig. 3. Schema einer Kraftübertragung.

[1]) Vergleiche Dr. A. von Waltenhofen, Die internationalen absoluten Maße, insbesondere die elektrischen Maße.

der Ströme, nämlich $J_o - i$. Den Strom J_o nennt man auch den Ruhestrom,[1]) denn er fließt nur solange, als der Motor sich noch in Ruhe befindet, solange noch nicht der Strom i induciert ist. Lauft der Motor einmal normal, so fließt in der Leitung der Strom $J_o - i$, welchen man darum auch den Arbeitsstrom nennt. Betrachten wir die motorische Wirkung des Stromes $J_o - i$ auf die Masse m_1 etwas näher. Die Kraft P, mit welcher der Strom $J_o - i$ auf die Masse m_1 wirkt, lässt sich nach dem Biot-Savart'schen Gesetze (I. B., S. 28) leicht rechnen:

Wir haben die Kraft zu berechnen, mit welcher ein vom Strom $J = J_o - i$ durchflossener, geradliniger und unendlich langer Leiter L auf einen im Abstande r befindlichen Pol von der Stärke m_1 einwirkt.

Die von dem Leiterelement ds auf den Pol m_1 ausgeübte Kraft ist

$$d\,P = \frac{m_1 \,.\, J \,.\, ds}{D^2}\, sin\,\alpha \;.\;.\;.\;.\; 1.$$

Führen wir für $sin\,\alpha$ den Wert aus der Figur ein, dann haben wir:

$$sin\,\alpha = \frac{r}{D}$$

in 1 einzusetzen und erhalten dadurch

$$d\,P = \frac{m_1 \,.\, J \,.\, ds}{D^2} \,.\, \frac{r}{D} \;.\;.\;.\;.\; 2.$$

Nun ist $D = \sqrt{r^2 + s^2}$, wenn wir mit s den Abstand des Leiterelementes ds von 0 bezeichnen. Setzen wir den Wert für D in die Gleichung 2 ein, dann erhalten wir:

$$d\,P = \frac{m_1 \,.\, J \,.\, ds \,.\, r}{(\sqrt{r^2 + s^2})^3} \;.\;.\;.\; 3.$$

Die gesammte von dem Leiter ausgeübte Kraft P ist gleich dem Integralwert aller $d\,P$ genommen nach der Variablen s zwischen den Grenzen $-\infty$ und $+\infty$.

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{m_1 \,.\, J \,.\, r}{(\sqrt{r^2 + s^2})^3}\, ds = m_1 \,.\, J \,.\, r \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{ds}{(\sqrt{r^2 + s^2})^3} = J \,.\, m_1 \,.\, \frac{2}{r}.$$

Setzen wir in diese Gleichung nach Früherem $J = J_o - i$ und den konstanten Wert $\frac{2}{r}$ gleich einem konstanten Wert a, so erhalten wir:

$$P = (J_o - i)\, m_1\, a \;.\;.\;.\;.\; 4.$$

Denken wir uns, die Masse m_1 bewege sich dauernd um den Leiter L_1 mit der Geschwindigkeit v. Dann leistet also die Kraft P eine sekundliche Arbeit von $P \,.\, v$ Erg, wenn wir alle Größen im C-G-S-System (I. Th., 1. B., S. 85) ausdrücken.

Folglich besteht die Gleichung:

$$P \,.\, v = (J_o - i) \,.\, m_1 \,.\, a \,.\, v \;.\;.\;.\;.\; 5.$$

Wir wollen nun untersuchen, was das Produkt $m_1 \,.\, a \,.\, v$ bedeutet.

Denken wir uns, es wäre bloß der inducierte Strom i vorhanden. Dieser Strom würde dann auf die magnetische Masse m_1 mit der Kraft

[1]) Dr. A. von Waltenhofen, Dingler's polytechnisches Journal, Bd. 188, S. 346.

$i \,.\, m_1 \,.\, a$ einwirken. Nachdem nun die Bewegung der Masse m_1 entgegen der Wirkung des Stromes i erfolgt, muss zur Überwindung des Widerstandes, den die Wirkung von i der Bewegung entgegensetzt, eine gleich große Kraft $i \,.\, m_1 \,.\, a$ dauernd aufgewendet werden. Die dabei geleistete sekundliche Arbeit ist gleich $i \,.\, m_1 \,.\, a \,.\, v$, wenn sich der Motor mit der Geschwindigkeit v bewegt. Diese Arbeit $i \,.\, m_1 \,.\, a \,.\, v$, die man also zur Überwindung der Wirkung von i aufwenden muss, ist, nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft, gleich der Arbeit, welche der Strom i seinerseits hervorbringen könnte. Wenn der Strom i in dem Drahtkreise, dessen Widerstand wir mit R annehmen wollen, fließt, wird eine Spannung verbraucht $e = i R$ und die dabei von dem Strome i geleistete Arbeit per Sekunde beträgt $e i$. Diese Arbeit muss gleich sein der vorhin gerechneten Arbeit, die man zur Überwindung des Widerstandes des Stromes i braucht, woraus also die Gleichung folgt: $e i = i m_1 \,.\, v \,.\, a$ und weiter $e = m_1 \,.\, v \,.\, a$.

e ist aber die gegenelektromotorische Kraft, die elektromotorische Kraft, welche den Gegenstrom i in der Leitung weckt, folglich bedeutet der Ausdruck $m_1 \,.\, v \,.\, a$ die gegenelektromotorische Kraft des Motors. Wir können daher die Gleichung 5 auch so schreiben:

$$P \,.\, v = (J_o - i)\, e = A \;\; \ldots\ldots \; 5^*.$$

Mit Worten ausgedrückt lautet dieser Satz:

Die vom Motor per Sekunde geleistete Arbeit ist gleich dem Produkte aus dem Arbeitsstrom und der gegenelektromotorischen Kraft des Motors.

Man ersieht auch aus diesem Satze, dass die gegenelektromotorische Kraft nothwendig ist, damit Arbeit geleistet werde.

Betrachten wir jetzt die Verhältnisse einer solchen Kraft- oder richtiger gesprochen Arbeitsübertragung genauer. Die von der Dynamomaschine geleistete Arbeit wird nicht nur durch die motorische Leistung, sondern auch durch die Entwicklung von Stromwärme in der Leitung, verzehrt. Denken wir uns wieder, der in der Leitung fließende Arbeitsstrom sei $(J_o - i) = J$. Die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine betrage E. Dann leistet die Dynamomaschine eine sekundliche Arbeit, welche gleich ist $J E$. Von dieser Arbeitsleistung wird an Stromwärmearbeit im Stromkreise verbraucht $J^2 R$, wobei unter R nicht nur der Widerstand der äußeren Leitung zu verstehen ist, sondern auch die inneren Widerstände der Maschinen. Die motorische Leistung beträgt $J e$. Zwischen den letztgenannten drei Größen besteht daher die Gleichung:

$$J E = J e + J^2 R \;\; \ldots\ldots \; 6.$$

Kürzen wir diese Gleichung durch J, so erhalten wir:

$$E = e + JR \quad . \ . \ . \ . \ 7.$$

Wie schon früher erwähnt, ist R die Summe aus dem äußeren Leitungswiderstande L und den inneren Widerständen von Dynamomaschine U und Motor u. Also ist $R = L + U + u$.

Machen wir diese Beziehung in unserer Gleichung 7 geltend, so haben wir:

$$E = e + JL + JU + Ju \quad . \ . \ . \ . \ 8 \text{ oder}$$

$$E - JU = JL + e + Ju \quad . \ . \ . \ . \ 8^{*}.$$

Das Produkt JU bedeutet den Spannungsabfall in der Dynamomaschine, die Differenz $E - JU = \Delta$ die Klemmenspannung der Dynamomaschine. JL ist der Spannungsverlust in der Leitung bis zu den Klemmen des Motors, e, wie schon bekannt, die gegenelektromotorische Kraft des Motors und Ju der Spannungsverlust innerhalb des Motors. $e + Ju = \delta$

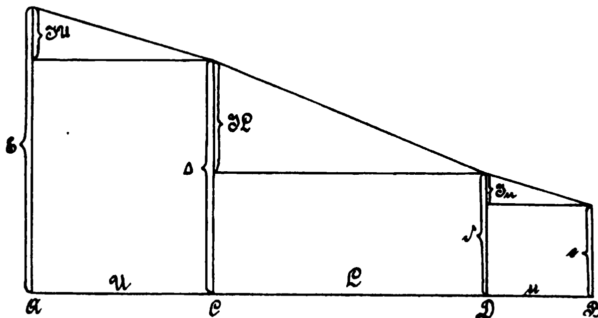


Fig. 4. Graphische Darstellung einer Kraftübertragung.

ist dann die Klemmenspannung des Motors. Die Gleichung 6 können wir daher auch schreiben:

$$\Delta = JL + \delta \quad . \ . \ . \ . \ 9, \text{ d. h.:}$$

Die Klemmenspannung der Dynamomaschine ist gleich der Summe aus Spannungsverlust in der äußeren Leitung und Klemmenspannung des Motors.

Die letzteren Gleichungen lassen sich graphisch sehr leicht darstellen. Die Linie AB, Fig. 4, stellt die Summe der Widerstände U, L und u dar. Im Punkte A herrscht die größte Spannung, die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine. Auf dem Wege bis zu den Klemmen der Dynamomaschine, Punkt C, geht die Spannung JU verloren, folglich verbleibt als Klemmenspannung der Dynamomaschine $\Delta = E - JU$. Der Spannungsverlust in der äußeren Leitung beträgt JL, so dass an den

Klemmen des Motors, Punkt D des Diagramms, eine Spannung herrscht $\delta = \Delta - JL$. Nachdem im Innern des Motors, durch die Überwindung des inneren Widerstandes des Motors, eine Spannung gleich Ju verloren geht, verbleibt als Rest der aufgewendeten elektromotorischen Kraft der Dynamomaschine E die zur Überwindung der gegenelektromotorischen Kraft nöthige Spannung e. Wir sagten, dass die geleistete mechanische Arbeit des Motors beträgt:

$$A = (J_o - i)\,e \;\ldots\; 5.$$

Machen wir in dieser Gleichung geltend, dass $e = iR$, dann lautet dieselbe:

$$A = (J_o - i)\,iR = J_o\,iR - i^2 R \;\ldots\; 10.$$

Fragen wir nun, bei welchem Strome i diese Arbeit ein Maximum wird. Der Strom i ist bekanntlich der Strom, der in der Leitung durch die gegenelektromotorische Kraft e geweckt wird. Die Frage lautet daher auch so: Bei welcher Größe der gegenelektromotorischen Kraft wird die geleistete Arbeit ein Maximum?

Verfahren wir nach den Regeln der Differentialrechnung, so haben wir den ersten Differentialquotienten der Gleichung 10 nach i zu bilden und diesen gleich 0 zu setzen.

$$\frac{dA}{di} = J_o R - 2iR = 0.$$

$$i = \frac{J_o}{2} \;\ldots\; 11, \text{ d. h.:}$$

Das Maximum an Arbeit wird dann geleistet, wenn der durch die gegenelektromotorische Kraft erzeugte Strom i gleich ist der Hälfte des Ruhestromes.

Der Arbeitsstrom $J = J_o - i$. Setzen wir $i = \frac{J_o}{2}$ in die Gleichung ein, so lautet sie:

$$J = J_o - \frac{J_o}{2} = \frac{J_o}{2} = i, \text{ d. h.:}$$

Das Arbeitsmaximum wird geleistet, wenn der Arbeitsstrom gleich ist dem halben Ruhestrom und dem Strome i, welcher der gegenelektromotorischen Kraft e entspricht.

Es wird sich nun um die Frage handeln, ob diesem geleisteten Arbeitsmaximum auch das beste Güteverhältnis der Kraftübertragung entspricht. Wir können das Güteverhältnis der Kraftübertragung ausdrücken durch die Gleichung:

$$\eta = \frac{(J_o - i)\,e}{(J_o - i)\,E} = \frac{e}{E} \;\ldots\; 12, \text{ d. h.}$$

durch den Quotienten aus der vom Motor in mechanische Arbeit umgesetzten elektrischen Energie und der im Anker der Dynamo-

maschine erzeugten elektrischen Arbeit, welches Verhältnis nach Kürzung der Gleichung durch $(J_o - i)$ auch gleich ist $\frac{e}{E}$, die gegenelektromotorische Kraft gebrochen durch die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine. Nun ist $J_o = \frac{E}{R}$ und $i = \frac{e}{R}$. Daraus folgt:

$$\eta = \frac{e}{E} = \frac{i}{J_o} \quad \ldots . \; 13.$$

Nach Gleichung 9, welche für das Arbeitsmaximum gilt, ist $i = \frac{J_o}{2}$. Machen wir das in der Gleichung 13 geltend, so ist:

$$\eta = \frac{e}{E} = \frac{\frac{J_o}{2}}{J_o} = \frac{1}{2} \quad \ldots . \; 14.$$

Wir ersehen daraus, dass der Wirkungsgrad nur 50% beträgt, also ein vollständig unbefriedigender ist. Lange Zeit glaubte man, dass es nicht möglich sein würde, ein besseres Güteverhältnis als 50% zu erhalten. Dieser Gedanke war ein unrichtiger, denn wenn wir nicht das Arbeitsmaximum fordern, sind weit bessere Güteverhältnisse möglich, eine Behauptung, die wir nun näher beweisen wollen.

Wir erhielten weiter oben die Gleichung:

$$J E = J e + J^2 R \quad \ldots . \; 6.$$

wobei $J = J_o - i$.

Nachdem nun $J_o = \frac{E}{R}$ und $i = \frac{e}{R}$, ist $J = \frac{E - e}{R}$.

Setzen wir diesen Ausdruck in 4 ein, so erhalten wir:

$$\frac{(E - e) E}{R} = \frac{(E - e) e}{R} + \frac{(E - e)^2}{R}, \text{ d. h.:}$$

Die primäre Arbeit ist gleich der sekundären Arbeit vermehrt um den Arbeitsverlust durch Stromwärme.

Kürzen wir die Gleichung durch R, so erhalten wir:

$$(E - e) E = (E - e) e + (E - e)^2 \quad \ldots . \; 15.$$

Diese Gleichung lässt sieh graphisch leicht darstellen. Der Deutlichkeit halber wollen wir die Erläuterung gleich mit besonderen Zahlen durchführen.

Wir zeichnen ein Quadrat mit der Seitenlänge E, Fig. 5, und denken uns, diese Strecke enthalte 10 Einheiten. Nehmen wir nun an, e, die gegenelektromotorische Kraft, betrage zwei Einheiten. Diese Größe sei dargestellt durch die Strecke $D E$. Dann ist $A E = E - e = 8$. Die Fläche $A B F E$ stellt dann das Produkt $(E - e) E$ dar, die primäre Arbeit. Die Fläche des Rechteckes $A E H G$ stellt das Produkt $(E - e) e$,

die sekundäre Arbeit a und die Fläche des Quadrates $BFHG$ die Stromwärmearbeit $(E-e)^2 = S$ dar, wobei nur zu bedenken ist, dass alle Ausdrücke durch R gekürzt sind.

Für den Wirkungsgrad η schrieben wir:

$$\eta = \frac{e}{E} \quad \ldots \quad 14.$$

Dieser Ausdruck hat nach unseren jetzigen speciellen Annahmen den Wert $\frac{2}{10} = \frac{1}{5} = 20\%$. Ferner ist $a = 16$, $S = 64$ und $A = 80$.

Wir sehen also, dass bei der gewählten kleinen gegenelektromotorischen Kraft der Wirkungsgrad der Anlage ein schlechter ist.

Nehmen wir nun die gegenelektromotorische Kraft des Motors wesentlich größer an, z. B. $e = 8$, und zeichnen wir dasselbe Quadrat wie früher, Fig. 6.

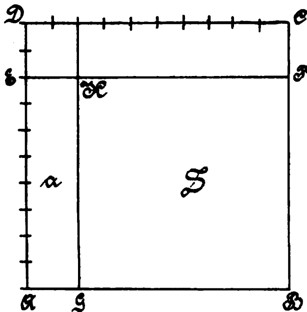


Fig. 5. Graphische Darstellung der Gleichung 15.

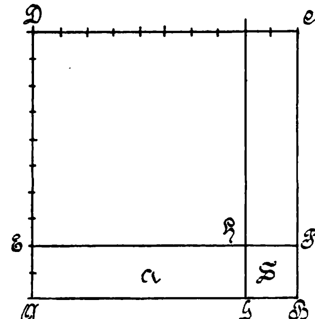


Fig. 6. Graphische Darstellung der Gleichung 15.

Vollführen wir wieder die graphische Darstellung der Gleichung 15 mit Zugrundelegung von $e = 8$, so erhalten wir wie zuvor Rechtecksflächen, die uns a und S vorstellen, u. zw. erhalten wir die Werte:

$$a = 16, \; S = 4, \; A = 20, \; \eta = \frac{8}{10} = \frac{4}{5} = 80\%.$$

Wir sehen, der Motor leistet jetzt bei der viermal größeren gegenelektromotorischen Kraft e die gleiche Arbeit wie früher, aber der Wirkungsgrad ist ein viermal besserer als im vorhegehenden Falle. Leicht können wir auch, Fig. 7, den vorhin gerechneten Fall der Maximalleistung auf dieselbe Weise graphisch veranschaulichen. Die Bedingung für die Leistung des Arbeitsmaximums lautet:

$$i = \frac{J_0}{2} \text{ oder } e = \frac{E}{2} \quad \ldots \quad 11.$$

Machen wir das wieder in unserem Quadrate geltend, so haben wir für $e = 5$ zu setzen, und wir erhalten folgende Werte:

$$a = 25,\ S = 25,\ A = 50,\ \eta = \frac{5}{10} = \frac{1}{2} = 50\%.$$

Die sekundär geleistete Arbeit ist größer als im vorhergehenden Falle, dafür ist aber auch der Wirkungsgrad gegen vorhin verschlechtert worden. Gleichzeitig ersehen wir auch aus der graphischen Darstellung, dass die nutzbar gemachte Arbeit, die sekundäre Arbeit, der nutzlos verbrauchten Stromwärmearbeit in den Leitungen gleich ist.

Um die vorhin abgeleiteten Formeln auf ihre Richtigkeit zu prüfen, wollen wir zunächst ein größeres Beispiel einer Kraftübertragungsanlage durchrechnen.

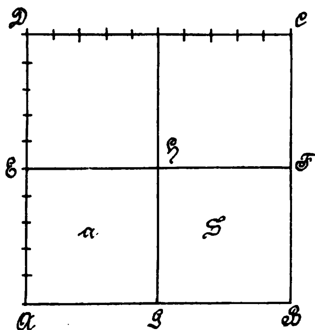


Fig. 7. Graphische Darstellung der Maximalleistung.

1. Beispiel: Denken wir uns, wir hätten eine Turbinenanlage, die eine Arbeit $A = 66$ *P. S.* liefert. Diese Arbeit soll an eine Dynamomaschine abgegeben werden mit der Klemmenspannung $\Delta = 1150$ Volt. Der innere Widerstand dieser Dynamomaschine $U = 1{\cdot}46\ \Omega$. Die Energie werde durch eine 900 *m* lange Kupferleitung mit dem Drahtdurchmesser $d = 5$ *mm*, dem eine Querschnittfläche von 19·6 mm^2 entspricht, zum Motor geleitet, dessen innerer Widerstand $u = 1{\cdot}4\ \Omega$. Nehmen wir an, der Wirkungsgrad f_1 der Energieübertragung von Turbine zur Dynamomaschine betrage 0·9. Dann haben wir an den Klemmen der Dynamomaschine zur Verfügung: $0{\cdot}9 \,.\, 66 = 59{\cdot}4$ *P. S.* oder $59{\cdot}4 \,.\, 736 = 43700$ Watt. Nachdem wir als Klemmenspannung der Dynamomaschine 1150 Volt gewählt haben, muss zum Zwecke der Übertragung der 43700 Watt der Arbeitsstrom sein:

$$J = \frac{43700}{1150} = 38 \text{ Ampère}.$$

Der Widerstand der Leitung beträgt bei den gemachten Annahmen 0·68 Ω, der Spannungsverlust in der Leitung also $38 \,.\, 0{\cdot}68 = 25{\cdot}8$ Volt.

Die Klemmspannung des Motors ist also: $\delta = \Delta - 25{\cdot}8 = 1124{\cdot}2$ Volt.

Wir haben also an den Klemmen des Motors an Energie zur Verfügung $= J\delta = 38 \,.\, 1124{\cdot}2$ Watt $= 42719$ Watt oder $\frac{42719}{736} = 58$ *P. S.*

Nehmen wir den Wirkungsgrad des Motors an mit $f_2 = 0{\cdot}9$, dann beträgt die vom Motor abgegebene Leistung $a = 0{\cdot}9 \,.\, 58 = 52{\cdot}2$ *P. S.* und der Wirkungsgrad der ganzen Anlage beträgt demnach $\eta = \frac{a}{A} = \frac{52{\cdot}2}{66} = 0{\cdot}791$, also 79%.

Wenden wir unsere im Vorhergehenden abgeleiteten Formeln auf dieses Beispiel an.

Wir fanden die Gleichung:

$$JE = Je + J^2 R \ldots\ldots 4.$$

In unserem Beispiele haben die in der Gleichung vorhandenen Größen folgende Werte:

$J = 38$ Ampère, $E = \Delta + JU = 1150 + 38 \,.\, 1{\cdot}46 = 1205{\cdot}5$ V, $e = \delta - Ju = 1124{\cdot}2 - 38 \,.\, 1{\cdot}4 = 1071$ V.

$$R = U + u + L = 1{\cdot}46 + 1{\cdot}4 + 0{\cdot}68 = 3{\cdot}54 \ \Omega.$$

Setzen wir diese Größen in die Gleichung 4 ein, so erhalten wir:

$$38 \,.\, 1205{\cdot}5 = 38 \,.\, 1071 + 38^2 \,.\, 3{\cdot}54.$$

Führen wir die Multiplikationen aus, so bekommen wir:

$$45809 = 40698 + 5111 \text{ oder } 45809 = 45809,$$

also thatsächlich eine identische Gleichung.

Genau ebenso lassen sich auch die anderen, von uns gefundenen Formeln bei dem Beispiele anwenden. Der Wirkungsgrad der ganzen Anlage muss offenbar gleich sein dem Produkte der 3 Wirkungsgrade f_1 der Dynamomaschine, f_2 des Motors und f_3 der Leitung. Wir wollen nun zunächst f_3 bestimmen.

Der Wirkungsgrad der Leitung

$$f_3 = \frac{\delta}{\Delta} = \frac{1124{\cdot}2}{1150} = 0{\cdot}977,$$

es muss also der Wirkungsgrad der ganzen Anlage sein

$$\eta = f_1 \,.\, f_2 \,.\, f_3 = 0{\cdot}9 \,.\, 0{\cdot}9 \,.\, 0{\cdot}977 = 0{\cdot}791,$$

eine Größe, die wir vorhin schon auf anderem Wege fanden.

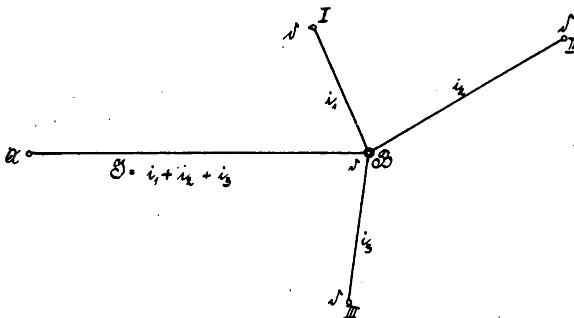


Fig. 8. Schema einer Kraftvertheilung.

Der Ruhestrom der Anlage

$$J = \frac{E}{R} = \frac{1205{\cdot}5}{3{\cdot}54} = 340 \text{ Ampère.}$$

Nachdem dieser Strom wegen seiner Größe der Dynamomaschine und dem Motor gefährlich werden könnte, muss mit Hilfe eines Anlasswiderstandes beim Motor dieser große Anlaufstrom verkleinert werden; wenn der Motor einmal seinen normalen Lauf erreicht hat, ist ein solcher Widerstand nicht mehr nöthig, denn die nun erzeugte gegenelektromotorische Kraft des Motors drückt die Stromstärke herunter. Die Berechnung eines solchen Anlassapparates ist in einem vorangehenden Beispiel (S. 4) gegeben.

2. Beispiel: Die Berechnung einer kleinen Kraftvertheilungsanlage. Es sei in A, Fig. 8, eine Dynamomaschine, deren Klemmenspannung $\Delta = 550$ V beträgt. Diese Maschine sendet ihren Strom mittelst einer Leitung, deren einfache Länge 330 m beträgt, nach dem Punkte B, dem Vertheilungspunkte der elektrischen Energie (Arbeit) innerhalb einer Fabriksanlage.

Diesen Vertheilungspunkt verlegt man möglichst in den Konsumschwerpunkt. Im Punkte B herrsche die Spannung $\delta = 550$ V. Vom Punkte B gehen Vertheilungsleitungen

nach den Motoren I, II und III, welche also sämmtlich mit der Spannung $\delta = 500$ V betrieben werden, wenn wir die kleinen Spannungsverluste von B nach den Punkten I, II und III vernachlässigen. Zu erwähnen wäre, dass die Spannung von 500 V vom Punkte A fortwährend mittelst eines im Kabel verlegten Prüfdrahtes kontrolliert und, wenn erforderlich, durch Regulierung der Dynamomaschine konstant gehalten wird.

Angenommen, die Motoren I, II und III, sollen beziehungsweise die Leistungen 25 *P. S*, 12 *P. S.* und 12 *P. S.* aufweisen, oder in Watt ausgedrückt, indem wir die letzteren Zahlen je mit 736 multiplicieren, 18400 Watt, 8832 W und 8832 W.

Wir wollen nun bestimmen, welche Ströme i_1, i_2 und i_3 diese Motoren zur Vollführung der betreffenden Leistungen brauchen. Nehmen wir die Wirkungsgrade der 3 Motoren beziehungsweise mit 0·92, 0·89 und 0·89 an. Es gelten folgende Gleichungen:

$$i_1 \,.\, 500 \,.\, 0{\cdot}92 = 18400,$$
$$i_2 \,.\, 500 \,.\, 0{\cdot}89 = 8832,$$
$$i_3 \,.\, 500 \,.\, 0{\cdot}89 = 8832,$$

woraus folgt: $i_1 = 40$ A, $i_2 = i_3 = 20$ A.

Der in der Hauptleitung fließende Arbeitsstrom $J = i_1 + i_2 + i_3 = 80$ A.

Dimensionierung der Leitungen.

Nachdem in A die Spannung 550 V, in B die Spannung 500 V herrscht, lassen wir also einen Spannungsverlust von 50 V zu. Dieser Spannungsverlust $s = J\,W$, wobei wir mit W den Widerstand der Leitung bezeichnen. Nun ist aber

$$W = \frac{2\,L}{K\,Q},$$

in welcher Gleichung K den Koefficienten der Leitungsfähigkeit für Kupfer $= 60$, Q den Querschnitt der Leitung und L die einfache Länge derselben bedeutet.

Setzen wir alle Größen in die Gleichung für s ein, so erhalten wir:

$$50 = \frac{80 \,.\, 2 \,.\, 330}{Q \,.\, 60}.$$

Daraus folgt $Q = 17{\cdot}6$ mm^2. Wählen wir den Drahtdurchmesser rund 5 mm, entsprechend einer Fläche von 19·6 mm^2, so verlieren wir auf dem Wege von A nach B weniger als 50 V.

Die Zuleitungsdrähte zu den Motoren bestimmen wir nach den Strömen i, die durch sie fließen, wobei wir aus Festigkeitsrücksichten d mindestens 3 mm wählen; oder aber wir nehmen einen bestimmten, zulässigen Spannungsverlust vom Punkte B nach den Punkten I, II und III an und rechnen die Querschnitte der Drähte, wie eben bei der Dimensionierung der Leitung gezeigt wurde.

7. Die Zugkraft des Serien- und des Nebenschlussmotors. Wir wollen nun untersuchen, von welchen Größen die Zugkraft eines Gleichstromserien- und eines Nebenschlussmotors abhängt. Die elektrische Energiemenge, welche der Gleichstrommotor sekundlich in Arbeit umsetzt, ist Je Watt oder $\frac{Je}{9{\cdot}81}$ mkg, wobei J der Arbeitsstrom ist und e die gegenelektromotorische Kraft des Motors. Diese Arbeit

$$\frac{Je}{9{\cdot}81} = p \,.\, \frac{2\,r\,\pi\,n}{60} \quad . \; . \; . \; . \; 1.$$

In dieser Gleichung bedeutet p die Zugkraft in kg, r den Radius der Riemenscheibe des Motors in Metern und n die Tourenzahl des Motors pro Minute. Diese Gleichung können wir auch so schreiben:

$$p = \frac{60}{9{\cdot}81 \, . \, 2 \pi r n} \, . \, J \, . \, e \; . \; . \; . \; 2;$$

e, die gegenelektromotorische Kraft des Motors, kann wie jede andere elektromotorische Kraft einer Dynamomaschine durch die bekannte Formel (I. Th., 2. B., S. 230):

$$e = \frac{N \, . \, n \, . \, Z}{6 \, . \, 10^9} \; . \; . \; . \; . \; 3$$

ausgedrückt werden.

In dieser Formel bedeutet:
N die Anzahl der Ankerdrähte am Umfange der Ankertrommel des Motors, n die Tourenzahl des Motors in der Minute und Z die Summe aller Kraftlinien, welche den Anker durchsetzen. Die Gleichung 2. lautet darum auch:

$$p = \frac{60}{9{\cdot}81 \, . \, 2 \pi r \, . \, n} \, . \, J \, . \, \frac{N \, . \, n Z}{6 \, . \, 10^9} \text{ oder vereinfacht:}$$

$$p = \frac{N}{9{\cdot}81 \, . \, 2 \pi r \, 10^8} \, J \, . \, Z \; . \; . \; . \; . \; 4.$$

Der Bruch hat bei einem bestimmten Motor einen konstanten Wert $= c$, so dass wir die Gleichung auch scheiden können:

$$p = C \, . \, J \, . \, Z \; . \; . \; . \; . \; 5., \text{ d. h.:}$$

Die Zugkraft des Motors ist proportional dem Ankerstrom und dem gesammten Kraftlinienfluss. Je mehr ein Motor belastet ist, desto mehr Strom nimmt er auf. J steigt also proportional mit der Belastung. Die Erklärung hiefür ist sehr einfach. Steigt die Belastung während des Betriebes, so sinkt die Tourenzahl, dadurch sinkt die gegenelektromotorische des Motors, und der Arbeitsstrom steigt. Mit wachsendem Strom wächst auch nach Gleichung 5 die Zugkraft proportional. Wie verhält es sich nun mit der Größe Z?

Beim Serienmotor fließt derselbe Strom durch die Schenkelwicklung wie durch den Anker, denn die Erregerwicklung und der Anker sind in Serie geschaltet. Wenn also durch Wachsen der Belastung der Ankerstrom wächst, wächst gleichzeitig auch der Kraftlinienfluss der Maschine, und mit dem Wachsen dieser Größe wächst wieder die Zugkraft des Motors proportional. Dieser Umstand ist es auch, welcher den Serienmotor so sehr befähigt, als Antriebsmotor für Fahrzeuge zu dienen. Beim Fahrzeugbetrieb kommt nämlich eine häufige Steigerung der Zug-

kraft über die normale Größe vor. So z. B. beim Befahren einer Rampe, oder beim Anfahren, wegen des größeren Reibungskoefficienten zwischen Rad und Schiene oder Fahrweg beim Übergang vom Zustande der Ruhe in den der Bewegung als während der Bewegung. Würde z. B. bei einem solchen Straßenbahnmotor der Betriebsstrom viermal so groß werden, so würde gleichzeitig der Kraftlinienfluss etwa zweimal so groß und daher die Zugkraft des Motors achtmal so groß.

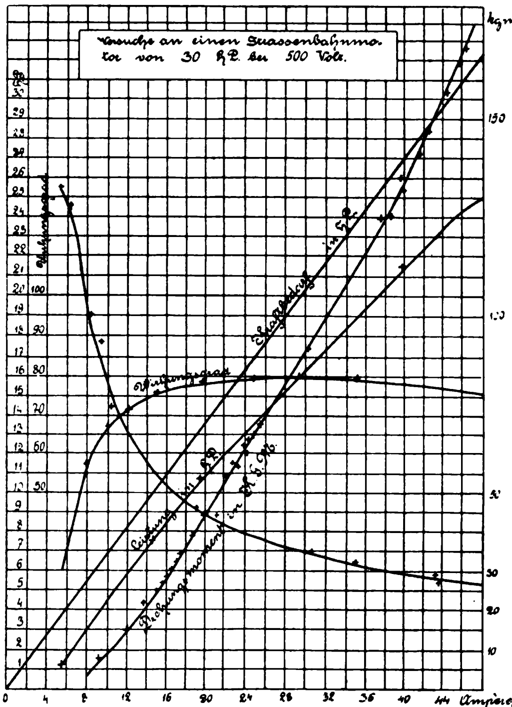


Fig. 9. Versuche an einem Straßenbahnmotor.

Wie liegen nun die Verhältnisse beim Nebenschlussmotor? Bei diesem sind die Erregerwicklung und der Anker parallel geschaltet und beide liegen an der Betriebsspannung. Ändert sich der Widerstand der Nebenschlusswickelung nicht, so fließt durch den Nebenschluss beständig der gleiche Strom, weil ja diese Wickelung beständig an der gleichen Spannung liegt. Wenn also auch der Ankerstrom wächst, so wächst darum doch nicht der Kraftlinienfluss, und die Zugkraft wächst nur proportional dem Ankerstrom. Es ist also der Nebenschlussmotor weit weniger zum Betriebe von Fahrzeugen geeignet als der Serienmotor. Hingegen hat der Nebenschlussmotor die für gewisse Zwecke vortheilhafte Eigenschaft, die Tourenzahl nahezu konstant zu halten, wenn auch die Belastung sich ändert. Wir sagten, dass die gegenelektromotorische Kraft des Motors geschrieben werden kann:

$$e = \frac{N \, . \, n \, . \, Z}{6 \, . \, 10^9} \quad . \; . \; . \; . \; 3.$$

Nachdem wir annahmen, dass der Motor an einer konstanten Klemmenspannung liegt, ist e nahezu konstant; denn $e = \delta - Ju$ und der Subtrahend gibt gegenüber der ziemlich bedeutenden Größe von δ

nicht viel aus. N ist bei einem bestimmten Motor konstant, Z ist auch konstant, weil wir annehmen, dass wir es mit einem Nebenschlussmotor zu thun haben. Nachdem also e, N und Z in Gleichung 3 konstant sind, muss auch n, die Tourenzahl, konstant oder nahezu konstant sein.

8. Untersuchungen von S. Thompson. Bei der Wichtigkeit, die der Serienmotor speciell für den elektrischen Bahnbetrieb hat, ist es von Interesse, die Untersuchungen, die S. Thompson an einem 30 *HP* Straßenbahnmotor, der für die Betriebsspannung von 500 *V* gebaut war, anstellte, kennen zu lernen. S. Thompson belastete den Motor immer mehr und mehr, so dass derselbe immer mehr Ampère brauchte. Gleichzeitig maß er die Leistung, die er gab, und die Tourenzahl. Aus diesen Größen rechnete er den Kraftbedarf des Motors in *HP*, die abgebenen *HP*, das Drehungsmoment des Motors in *kgm*, sowie den Wirkungsgrad. Alle diese Größen trug er in das Diagramm Fig. 9 ein, welches Diagramm ein sehr deutliches Bild der Betriebsverhältnisse eines solchen Serienmotors bietet. Wir ersehen speciell aus dem Bilde, dass mit steigender Belastung, also mit steigender Ampèrezahl, die Tourenzahl des Motors namhaft sinkt. Gleichzeitig ist aus dem Diagramm zu ersehen, dass der Wirkungsgrad des Motors bei stärkeren Belastungen wesentlich besser ist als bei kleinen Belastungen, er steigt bis 80%.

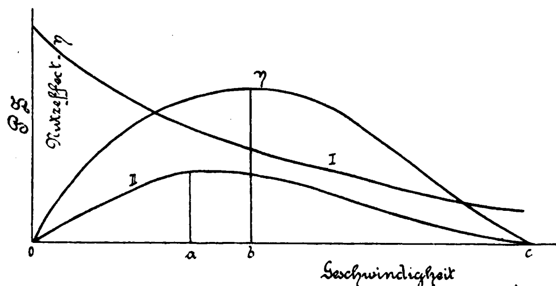


Fig. 10. Geschwindigkeitscharakteristik eines Elektromotors.

9. Geschwindigkeitscharakteristik von Gisbert Kapp. Sehr interessant ist die von G. Kapp aufgestellte Geschwindigkeitscharakteristik eines Motors. Kapp trägt auf der Abscissenachse die Geschwindigkeiten und auf der Ordinatenachse die *HP* auf. In dem Diagramm Fig. 10 verzeichnet er die Kurven für die aufgenommenen *HP*, Kurve I, für die abgegebenen *HP*, Kurve II, sowie die Curve für den Wirkungsgrad.

Wir erkennen aus dem Diagramme, dass der Motor bei Stillstand, Punkt O des Diagrammes, die meiste Energie verbraucht, weil, wie uns

schon bekannt, bei Stillstand keine gegenelektromotorische Kraft erzeugt wird. Bei einer bestimmten maximalen Geschwindigkeit, Punkt *e* des Diagrammes, bei welcher keine Arbeit geleistet wird, ist die vom Motor, aufgenommene Arbeit ein Minimum. Ferner zeigen uns auch die Kurven, dass bei der Geschwindigkeit, bei welcher der Motor den Maximaleffekt leistet, nicht auch der beste Wirkungsgrad herrscht. Während der Motor bei einer Geschwindigkeit $= Oa$, die meiste Arbeit leistet, denn im Punkte *a* erreicht die Kurve der abgegebenen *HP* ihr Maximum, zeigt die Kurve des Wirkungsgrades, dass der beste Wirkungsgrad dann herrscht, wenn der Motor mit einer größeren Geschwindigkeit lauft, nämlich mit der Geschwindigkeit *Ob*.

10. Regulierung der Gleichstrommotoren. Die wichtigsten an einem Gleichstrommotor vorzunehmenden Regulierungen während des Betriebes sind:

1. Die Umkehrung der Umlaufsrichtung und 2. die Änderung der Tourenzahl.

Das Princip der Umkehrung der Drehrichtung ist folgendes. Ist der Motor vom Strom durchflossen, so geben die Pole des Motors ein Magnetfeld, der vom Strom durchflossene Anker ein zweites Feld. Das Drehmoment des Motors rührt von der gegenseitigen Einwirkung dieser beiden Magnetfelder her. Geben wir nun einem dieser Felder die entgegengesetzte Richtung von der gerade herrschenden, so wird die Drehung des Motors im entgegengesetzten Sinne erfolgen. Die Mittel, um das zu bewerkstelligen, sind mannigfach. Wir können das vom Anker erzeugte Feld leicht kommutieren, wenn wir einfach den Strom durch den Anker in verkehrter Richtung durchsenden, was entweder durch Verschieben des Bürstenapparates um nahezu 180^0 erreicht werden kann, oder durch Konstruktion eines Bürstenapparates mit zwei Paaren von Bürsten, bei einem zweipoligen Motor, wobei je ein Paar Bürsten bei einer gewissen Umdrehungsrichtung in Aktion tritt, eine Konstruktion, die zuerst von Hopkinson und Reckenzaun angegeben wurde. S. Thompson schlug die Konstruktion eines Stromabgebers vor, bei welchem die Stäbe spiralig geschnitten sind, so dass man den Bürstenapparat parallel zu sich selbst verschieben muss, um eine Umsteuerung des Motors vorzunehmen.

Ferner rührt von demselben Gelehrten eine sehr sinnreiche Konstruktion her, die darin besteht, dass die eine Bürste an der Mitte der im Nebenschluss liegenden Feldwicklung liegt, diese Bürste liegt also, sozusagen, sowohl an der positiven, als auch an der negativen Leitung, die zweite Bürste kann nun durch einen Umschalter entweder an die

eine oder andere Leitung angelegt werden, wodurch der Anker dann in einem oder anderem Sinne vom Strome durchflossen wird, also in dem einen oder anderen Sinne rotiert. Andere Methoden der Reversierung der Drehrichtung eines Motors bestehen darin, dass man das Feld der Feldmagnete umkehrt, was leicht durch die Änderung der Anschlüsse derselben an die Hauptleitung geschehen kann. Die Regulierung der Geschwindigkeit eines Motors kann am leichtesten durch Änderung der Klemmenspannung des Motors, durch Einschaltung eines Widerstandes in der Zuleitung, geschehen. Wenn nämlich ein Motor eine bestimmte Belastung zu ziehen hat, so verbraucht er bei allen Klemmenspannungen nahezu den gleichen Strom, was sich mit der Änderung der Klemmenspannung ändert, ist lediglich seine Tourenzahl, und zwar ändert sich dieselbe proportional der Klemmenspannung: sie wird größer, wenn die Klemmenspannung steigt, und kleiner, wenn letztere sinkt.

Die Tourenzahl eines Nebenschlussmotors kann man auch so ändern, dass man den Widerstand der Magnetwicklung ändert, was aus folgenden Erwägungen hervorgeht. Wir schrieben die folgende Gleichung:

$$e = \frac{N . n . Z}{6 . 10^9} \quad . . . . 3. \text{ Daraus folgt:}$$

$$n = \frac{6 . 10^9 . e}{N . Z}.$$

Nehmen wir eine bestimmte Belastung an, dann hat $e = \Delta - Ju$ einen bestimmten Wert, denn J bedeutet beim Nebenschlussmotor gemäß unseren früheren Ableitungen den gesammten Stromverbrauch des Motors, und der hängt nur von der Belastung des Motors ab.

N ist bei einem bestimmten Motor konstant. Z, die Anzahl der den Anker durchsetzenden Kraftlinien, ist umgekehrt proportional der Tourenzahl. Wollen wir also z. B. n vergrößern, so müssen wir Z verkleinern. Z machen wir dadurch kleiner, dass wir den Erregerstrom verkleinern, und da beim Nebenschlussmotor die Erregerwicklung an einer bestimmten Spannung, der Betriebsspannung, liegt, geschieht das dadurch, dass wir in die Erregerwicklung Widerstand einschalten.

Solche und andere Widerstandsänderungen zum Zwecke der Tourenregulierung eines Motors lassen sich auch mit Hilfe eines Centrifugalapparates selbstthätig bewerkstelligen, nur haben diese Reguliermethoden den Nachtheil, dass sie alle zu spät regulieren, nämlich erst dann, wenn sich die Tourenzahl des Motors schon geändert hat.

Andere Methoden der Tourenregulierung bestehen darin, dass man gemischte Wicklungen auf die Magnetschenkel bringt oder den Anker mit zwei Wicklungen versieht; die eine Wicklung empfängt den Strom

aus der Hauptleitung, die andere Wicklung steht mit Zuhilfenahme eines besonderen Stromabgebers und besonderer Bürsten mit der Feldwicklung in Verbindung. Diese zweite Wicklung repräsentiert die Ankerwicklung einer Dynamomaschine, deren Strom dadurch, dass er in die Feldwicklung geleitet wird, den Kraftlinienfluss des Motors und dadurch die Geschwindigkeit desselben regelt. Steigt z. B. die Geschwindigkeit des Motors, etwa durch Sinken der Belastung, so entwickelt die zweite Wicklung des Ankers einen größeren Strom in der Feldwicklung, die Feldstärke steigt und dadurch die gegenelektromotorische Kraft des Motors. Durch das Anwachsen der gegenelektromotorischen Kraft des Motors sinkt sofort der Strom in der Hauptleitung, wodurch der Motor gezwungen ist, langsamer zu laufen. Eine von Dolivo von Dobrowolsky nach Kapp ausgeführte Regulierung von Serienmotoren beruht darauf, dass zur Kraftübertragung eine Seriendynamomaschine und ein Serienmotor verwendet werden, welche Maschinen möglichst gleiche Charakteristiken haben. Man versteht unter der Charakteristik einer Dynamomaschine bekanntlich jene Kurve, welche den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung der Maschine darstellt, wenn die Tourenzahl und der Widerstand der Erregerwicklung konstant bleiben, und nur der Widerstand des äußeren Stromkreises geändert wird. Diese Methode bewirkt ebenfalls, dass der Motor bei verschiedenen Belastungen mit gleicher Geschwindigkeit läuft.

11. Elektrische Kraftübertragung mittelst Wechselstrom.[1]) Wir wollen zunächst den einfachsten Fall einer elektrischen Kraftübertragung mittelst Wechselstrom behandeln. Wir denken uns eine einphasige Wechselstrommaschine und einen völlig gleichartigen einphasigen Motor, die zum Zwecke einer Kraftübertragung mittelst einer Leitung verbunden sind, welche weder Selbstinduktion noch Kapacität zeigt. Nehmen wir an, der Ohm'sche Widerstand der beiden Ankerwicklungen und der Leitung, welche drei Widerstände ja in Serie geschaltet sind, habe die Größe w. Generator und Motor seien so erregt, dass sie die maximalen elektromotorischen Kräfte E_1 und E_2 haben, der in der Leitung fließende Strom, der also auch der Ankerstrom für die Dynamomaschine und den Motor ist, betrage maximal i Ampère. Ferner wollen wir annehmen, dass die Selbstinduktionskoefficienten L_1 und L_2 der beiden Maschinen gegebene, konstante Größen seien. Die Maximalwerte der elektromotorischen Kräfte der Selbstinduktion der beiden Maschinen betragen demnach:

$$e_{s_1} = 2\pi N L_1 . i \text{ und}$$
$$e_{s_2} = 2\pi N L_2 i \text{ (I. Th., I. B., S. 127),}$$

[1]) Vergleiche Gisbert Kapp, Elektrische Kraftübertragung.

in welchen Gleichungen N die Periodenzahl des Wechselstromes bedeutet. Die gesammte in der Leitung wirkende gegenelektromotorische Kraft der Selbstinduktion $e_s = e_{s_1} + e_{s_2} = 2\pi N (L_1 + L_2) i$. Der gesammte Spannungsverlust in den Ankern sowie in der Leitung, infolge des Ohm'schen Widerstandes, beträgt, nachdem der Widerstand w ist, $e_w = w\,i$.

Verzeichnen wir nun mit Hilfe dieser Größen das folgende Diagramm, nach den bei der Betrachtung des Wechselstromes kennen gelernten Regeln. OJ, Fig. 11, sei die Richtung des im Leitungskreise fließenden Stromes. Soll dieser Strom in der Leitung erzeugt und erhalten werden, so muss in diesem Stromkreise eine elektromotorische Kraft herrschen, welche imstande ist, sowohl den Spannungsverlust infolge des Ohm'schen Widerstandes zu decken, als auch die wirkende gegenelektromotorische Kraft des Kreises zu überwinden. Die Komponente des Ohm'schen Spannungsverlustes hat mit dem Strome die gleiche Richtung und ist im Diagramme durch die Strecke $OW = e_w$ bezeichnet. Der Vektor der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion eilt dem Strome um 90^0 vor, ist also dargestellt durch die Strecke $OS = e_s$. Der Ohm'sche Spannungsverlust e_w und die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion e_s geben als Resultierende die Strecke $OA = e$, das ist also die im Stromkreise wirkende elektromotorische Kraft. Nun ist Folgendes zu bedenken. Wenn Dynamomaschine und Motor in Bewegung sind, so entwickeln beide eine elektromotorische Kraft. Bei der Kraftübertragung mittelst Gleichstrom haben wir das schon des näheren betrachtet. Es muss also die elektromotorische Kraft e die Resultierende darstellen aus der elektromotorischen Kraft der Dynamomaschine und der elektromotorischen Kraft des Motors. Verzeichnen wir zwei Kreise 1 und 2, bei welchen der Radius des ersteren proportional ist der elektomotorischen Kraft der Dynamomaschine und der Radius des zweiten proportional der elektromotorischen Kraft des Motors. Wir müssen nun e so zerlegen, das e die Diagonale eines Parallelogrammes wird, dessen andere Ecken in der Peripherie der Kreise 1 und 2 liegen. Solcher Parallelogramme gibt es zwei. Das eine ist in Fig. 11 gezeichnet, es ist das Parallelogramm

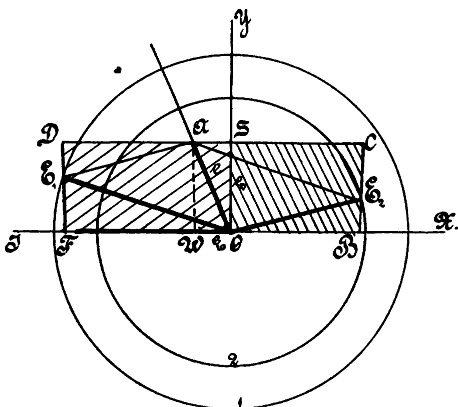


Fig. 11.
Diagramm einer Kraftübertragung.

$O\,E_2\,A\,E_1$, das andere ist in Fig. 12 dargestellt, es ist das Parallelogramm $O\,E_1\,A\,E_2$. Die Maximalwerte der elektromotorischen Kräfte von Dynamomaschine und Motor, E_1 und E_2, sind in beiden Parallelogrammen dargestellt durch die Strecken $O\,E_1$ und $O\,E_2$. In dem Parallelogramme Fig. 11 liegen E_1 und J in einem und demselben Quadranten, E_2 und J in verschiedenen Quadranten des Kreises. Diese Verhältnisse haben folgende Bedeutung. Denken wir uns die Vektoren um O gedreht, so stellen bekanntlich ihre Projectionen auf die Linie x die Momentanwerte der periodisch veränderlichen Größen dar. Nun ersieht man, dass bei dieser Drehung der Strom und die Spannung gleichzeitig ab- und zunehmen; Strom und Spannung haben immer gleiche Richtung, die Maschine gibt also fortwährend Energie ab, sie wirkt als Dynamomaschine. Anders verhält es sich mit den Größen J und E_2. Denken wir uns wieder die Vektoren, die J und E_2 darstellen, gedreht, so sehen wir, dass, wenn J zunimmt, E_2 abnimmt und umgekehrt: Strom und Spannung haben beständig verschiedene Richtung. Die zweite Maschine arbeitet also als Motor, sie verzehrt fortwährend Energie. In Fig. 12 liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Hier wirkt also die Maschine, deren elektromotorische Kraft E_2 ist, als Dynamomaschine, während die Maschine, deren elektromotorische Kraft E_1 ist, als Motor wirkt. Das Merkwürdige ist nun, dass in diesem Falle die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine E_2 kleiner ist als die elektromotorische Kraft des Motors. Dieser Fall kann bei einer Kraftübertragung mittelst Gleichstrom niemals vorkommen.

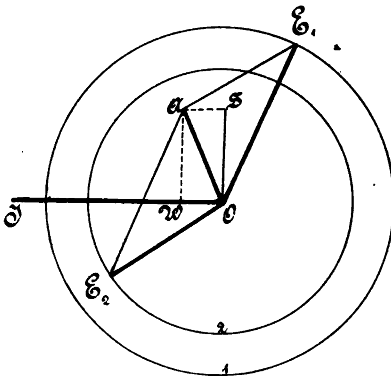


Fig. 12.
Diagramm einer Kraftübertragung.

Leicht lassen sich auch in unserem Diagramm die Leistungen von Dynamomaschine und Motor graphisch darstellen.

Die von der Dynamomaschine abgegebene Energiemeng in effektiven Watt ist $i \times \overline{O\,F}$, denn nur die Komponente $\overline{O\,F}$ der Spannung E_1, die mit dem Strome i die gleiche Richtung hat, leistet im Vereine mit i nutzbare Arbeit. Nun ist aber

$$e_s = 2\,\pi\,N\,(L_1 + L_2)\,i, \text{ woraus folgt:}$$

$$i = \frac{e_s}{2\,\pi\,N}\,(L_1 + L_2)$$

Wir ersehen aus dieser Gleichung, dass i proportional e_s ist. Statt also die Leistung der Dynamomaschine durch $i \times \overline{OF}$ anzugeben, können wir sie auch durch das Produkt $\overline{OF} . \overline{OS}$ darstellen, welches Produkt in dem Diagramm durch die Rechtecksfläche $OSDF$ dargestellt ist. Die vom Motor in mechanische Energie umgesetzte elektrische Energie ist nach ähnlichen Erwägungen $i . \overline{OB}$, welches Produkt auch durch $\overline{OS} . \overline{OB}$, also die Rechtecksfläche $OBCS$, dargestellt werden kann.

Wir wollen nun untersuchen, wie sich ein Wechselstrommotor bei konstanter Belastung verhält, wenn die Erregung verschieden eingestellt wird, also die elektromotorische Kraft des Motors sich verändert. Nach-

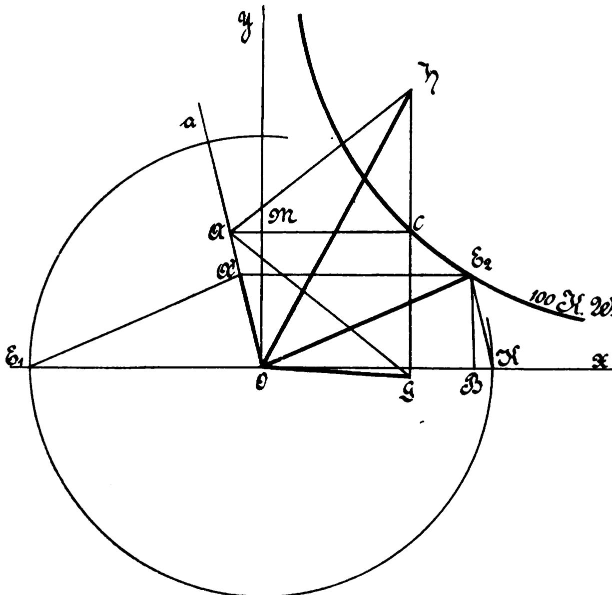


Fig. 13. Wechselstrommotor bei konstanter Belastung und verschiedener Erregung.

dem wir annehmen, dass die Belastung konstant bleiben soll, muss die Rechtecksfläche $OBCS$ im Diagramm Fig. 11, welche die Arbeitsleistung des Motors darstellt, konstant bleiben, wenn auch der Punkt C seine Lage verändert. Das geschieht, nach den Regeln der Geometrie, wenn sich der Punkt C längs einer gleichseitigen Hyperbel, deren geometrische Größen sich eben durch den Flächeninhalt des Rechteckes $OBCS$ bestimmen, bewegt. Wählen wir also für C irgendeine Lage auf der Hyperbel Fig. 13, welche angenommen einer Leistung von 100 K. W. entspricht. Die folgenden Konstruktionen vergleichen wir beständig mit den Figuren 11 und 12.

Ziehen wir durch C eine Parallele zur x-Achse, so schneidet diese die y-Achse im Punkte M und $OM = e_s$ bedeutet die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion der Anlage. Die Richtung der resultierenden elektromotorischen Kraft O_a finden wir leicht als Diagonale eines Rechteckes, dessen eine Seite OM und dessen andere Seite der Spannungsverlust infolge des Ohm'schen Widerstandes ist. Letzteren nehmen wir z. B. an, indem wir die Bedingung stellen, dieser Spannungsabfall soll ein gewisser Theil der elektromotorischen Kraft der Selbstinduktion sein. Haben wir jetzt die Richtung O_a gefunden, so brauchen wir nur CM zu verlängern bis zum Schnittpunkte A mit der Richtung O_a. Die Resultierende OA bedeutet die resultierende elektromotorische Kraft. Wir haben also gegeben die resultierende elektromotorische Kraft und die primäre elektromotorische Kraft, denn diese bleibt ja fortwährend konstant. Die elektromische Kraft des Motors muss sich als dritte Seite eines Dreieckes ergeben, dessen andere Seiten die resultierende elektromotorische Kraft und die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine sind. Dieses Dreieck ist leicht zu zeichnen, indem wir wissen, dass der noch unbekannte Eckpunkt desselben in der Senkrechten durch C auf die x-Achse liegt. Wir brauchen also bloß die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine in den Zirkel zu nehmen, in A einzusetzen und diese Senkrechte zu schneiden. Wir finden bei diesem Verfahren zwei Schnittpunkte H und G, und dementsprechend auch zwei elektromotorische Kräfte des Motors, nämlich OH und OG, von welchen die erstere wesentlich größer ist als die letztere. Diesen elektromotorischen Kräften, deren Größe durch Variation der Erregung des Motors eingestellt werden kann, entspricht ein bestimmter Strom, denn die Strecke OM, welche die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion bedeutet, ist ja auch proportional dem Strome. Nun wissen wir, dass sich eine Kraftübertragung umso besser bewährt, je weniger Energie auf die Leistung von Wärmearbeit in der Leitung verbraucht wird. Diese Größe wird umso kleiner, je kleiner der Strom ist, der in der Leitung fließt. Wir werden also in unserem Diagramm C so wählen, dass die Strecke $i = OM$ ein Minimum wird. Die Lage dieses Punktes finden wir in E_2, indem wir durch K, den Schnittpunkt des Kreises mit dem Radius E_1 mit der x-Achse, eine Parallele zu O_a legen. Diese Lage ist dadurch gekennzeichnet, dass, wenn wir von E_2 ausgehend, die gleiche Konstruktion wie früher vollführen, wir zu einem Rechtecke kommen $O E_2 A' E_1$, in welchem Rechtecke OE_2 die elektromotorische Kraft des Motors bedeutet und OE_1 die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine. Für E_2 erhalten wir hier nur einen Wert. In diesem Falle besteht auch zwischen E_1 und dem Strome keine Phasenverschiebung. Der

Strom in der Leitung ist ein Minimum und daher der Wirkungsgrad der Anlage ein Maximum. Diese Beziehungen zwischen den elektromotorischen Kräften des Motors und der Stromstärke in der Leitung kann man auch in Form eines Diagrammes, Fig. 14, darstellen. Wir ersehen aus dieser Figur, wie je zwei verschiedenen Spannungen des Motors eine gleiche Stromstärke entspricht, denn eine Parallele zur x-Achse schneidet die Kurve in zwei Punkten. Gleichzeitig fällt uns auch der Punkt des Stromminimums A auf, der einer bestimmten elektromotorischen Kraft des Motors entspricht. Die gezeichnete Kurve hat im linken Theile des Feldes eine vertikale Tangente. Gehen wir mit der elektromotorischen Kraft des Motors unter diese Größe, welche der vertikalen Tangente entspricht, indem wir einfach die erregende Kraft

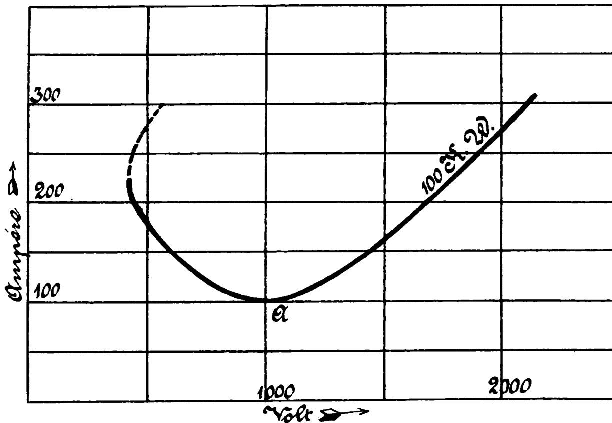


Fig. 14. **Beziehung zwischen den elektromotorischen Kräften eines Motors und der Stromstärke in der Leitung.**

des Motors kleiner wählen, dann schneidet eine Vertikale, in dem neuen Punkte der x-Achse errichtet, die Kurve gar nicht mehr, wir erhalten also keinen entsprechenden Stromwert mehr, dass heißt, bei dieser Größe der elektromotorischen Kraft des Motors ist ein Betrieb des Motors nicht mehr möglich. Nachdem der rechte Theil der Kurve keinen solchen kritischen Punkt zeigt, wählt man die erregende Kraft immer etwas größer, als es theoretisch am richtigsten wäre, damit eine kleine Änderung der erregenden Kraft oder der Belastung keine Betriebsstörung, infolge Außertrittfallens des Motors, bewirkt.

Wir wollen nun untersuchen, wie sich der Motor bei verschiedenen Belastungen verhält, speciell welche Überlastung er auszuhalten imstande ist.

Denken wir uns, wir hätten bei einer Wechselstromkraftübertragung gegeben die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine E_1, die elektromotorische Kraft des Motors E_2; ferner möge uns noch bekannt sein das Verhältnis der elektromotorischen Kraft, welche durch die Erzeugung von Stromwärme in der Leitung verloren geht, e_w zu e_s, das ist die elektromotorische Kraft, welche gebraucht wird, um die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion zu überwinden. Wir zeichnen nun folgendes Diagramm, Fig. 15. $O\,E_1$ bedeutet die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine. Mit der Größe E_2, die wir bei allen folgenden Betrachtungen als konstant annehmen wollen, dass heißt, wir nehmen konstante Erregung an, schlagen wir um O einen Kreis, so dass wir $O\,E_2$ als Radius dieses Kreises erhalten und auch als Radius dieses Kreises in verschiedene Lagen bringen können. Konstruieren wir das Parallelogramm mit den Seiten E_1 und E_2, so erhalten wir e die resultierende elektromotorische Kraft. Nachdem nun das Verhältnis zwischen e_w und e_s gegeben ist, können wir jetzt auch das kleine Dreieck $a\,b\,O$ konstruieren, wodurch wir den Winkel o erhalten, um den die Komponente der elektromotorischen Kraft, welche die Selbstinduktion überwindet, gegen die Resultante e voreilt. Senkrecht auf e_s steht die Richtung des Stromvektors $O\,i$. Den Strom i können wir auch auftragen, denn wir können ja den Strom i, nachdem wir e_s kennen, aus der uns von früher bekannten Gleichung rechnen:

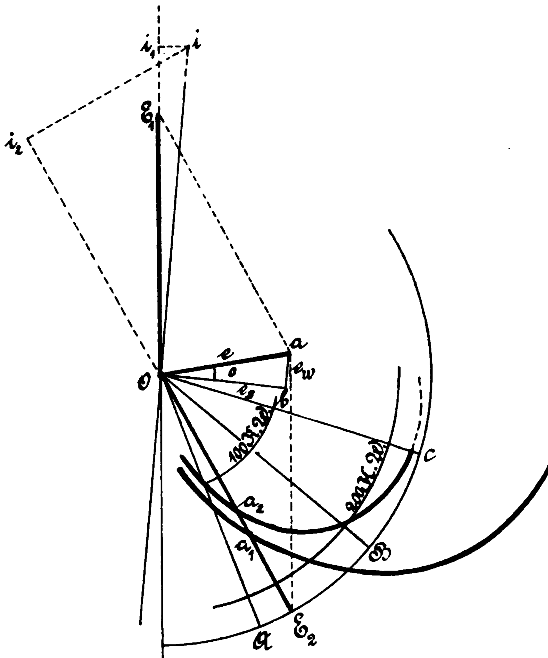


Fig. 15. Verhalten des Wechselstrommotors.

$$e_s = 2\,\pi N\,(L_1 + L_2)i$$

L_1, L_2, und N sind bekannte Größen.

Die Leistung des Motors, welche der Lage $O\,E_2$ seiner elektromotorischen Kraft entspricht, finden wir, indem wir den Strom i auf

die Richtung von $O E_2$ projicieren. $O i_2$ ist dann die Komponente des Stromes, welche phasengleich ist mit der elektromotorischen Kraft $O E_2$ des Motors, und die Leistung des Motors ist daher $\overline{O i_2} \times \overline{O E_2}$ Watt. Diese Größe tragen wir in der Figur ein als $O a_2$. Die von der Dynamomaschine in diesem Falle abgegebene Leistung kann ebenso leicht bestimmt werden. Wir projicieren zu diesem Behufe den Strom auf die Richtung $O E_1$ der elektromotorischen Kraft der Dynamomaschine, so dass wir als Leistung der Dynamomaschine erhalten $\overline{O i_1} \times \overline{O E_1}$ Watt. Diese Größe stellen wir in der Figur durch $O a_1$ dar. Und so entspricht jeder Lage von $O E_2$ in der Figur ein Punkt a_2 und ein Punkt a_1. Immer bedeutet $O a_1$ die Leistung der Dynamomaschine, $O a_2$ die Leistung des Motors. Die Differenz $O a_1 - O a_2$ gibt den Energieverlust in der Leitung an. Verbinden wir alle Punkte a_1 und alle Punkte a_2 mit einander, so erhalten wir zwei Kurven, die das Verhalten eines Wechselstrommotors darstellen, wenn seine Erregung konstant erhalten wird, während seine Belastung sich ändert. Denken wir uns nämlich, dass die Belastung des Motors steigt, dann verbraucht er offenbar mehr Energie, der Radius $O E_2$ wandert nach aufwärts; endlich kommen wir zu einem Punkt der Kurve a_2 entsprechend der Lage $O C$ des Radius $O E_2$. Gehen wir mit der Belastung noch weiter, dann rückt der Radius noch weiter hinauf, aber die dem Motor zur Verfügung stehende Energiemenge wird kleiner, der Motor fällt außer Tritt und bleibt stehen.

Wir haben bei unseren bisherigen Betrachtungen die Rückwirkung der Anker auf die besprochenen Vorgänge vernachlässigt. Es entsteht nun die Frage, ob das zulässig ist. Im allgemeinen soll eine solche Vernachlässigung nicht stattfinden; denn die Ankerrückwirkung wird bei Wechselstrommaschinen oft ganz namhaft.

Es ist nämlich für den Betrieb von Vortheil, den Maschinen eine größere Selbstinduktion zu geben, damit, bei Überlastung des Motors, keine Störung des Betriebes eintritt. Eine große Selbstinduktion der Maschine bedeutet aber eine große Zahl von Ampère-Windungen des Ankers, und diese üben dann eine schwächende Wirkung auf das Feld aus. Die Folge davon ist, dass die elektromotorische Kraft der Maschine eine kleinere wird. Machen wir den Einfluss dieser Ankerrückwirkung in unserem Diagramme geltend und konstruieren wir es neuerdings, so erhalten wir das Diagramm Fig. 16. Es ist ein ähnliches Diagramm wie das der vorhergehenden Figur. Die Kurve 1 ist dann die Energiekurve, berechnet wie früher ohne Berücksichtigung der Ankerrückwirkung. Die Kurve 2 stellt die Energiekurve dar, berechnet mit Berücksichtigung der Ankerrückwirkung. Wir ersehen aus der Figur auch sofort den Einfluss der Ankerrückwirkung auf den Betrieb. Die Energiekurve

2 kehrt nämlich schon viel früher gegen das Centrum zurück als die Kurve 1, und das hat zur Folge, wie aus den Erörterungen bei der vorhergehenden Figur leicht folgt, dass der Motor viel weniger Belastung verträgt als im Falle, wenn keine Ankerrückwirkung besteht.

Bei der Berechnung von Wechselstromkraftübertragungsanlagen ist auch zu berücksichtigen, dass die Fernleitung eine Kapacität besitzt. Dieser Umstand hat zur Folge, dass in der Leitung neben dem Arbeitsstrom noch ein Ladungsstrom hin- und herfließt. Dieser Ladungsstrom ist bei den kleineren Fernleitungen klein, so dass wir seine Größe bei den Berechnungen vernachlässigen dürfen, bei größeren Fernleitungen jedoch, wo überdies auch größere Spannungen angewendet werden, kann der Ladungsstrom größere Dimensionen annehmen. Insbesondere haben koncentrische Kabel eine bedeutende Kapacität. In unserem Diagramme könnten wir den Einfluss der Kapacität der Leitung leicht zum Ausdrucke bringen, indem wir uns den Ladungsstrom berechnen und bei seiner Eintragung in das Diagramm bedenken, dass er der elektromotorischen Kraft, welche ihn hervorruft, um 90° voraneilt (I. Th., 1. B., S. 132). Man findet als das Resultat der Konstruktion, dass der Einfluss der Kapacität der Leitung sich darin äußert, dass man gezwungen ist, die Spannung des Generators zu erniedrigen und die Stromstärke zu erhöhen.

Fig. 16.
Einfluss der Ankerrückwirkung.

12. Die Wechselstrommotoren in ihrer Verwendung bei Kraftübertragungsanlagen. Der einfachste Wechselstrombetrieb ist der mittels einphasigem Wechselstrom. Nur bietet der Motorenbetrieb mit einphasigem Wechselstrom manche Schwierigkeiten. Ein einphasiger Wechselstrommotor muss zunächst ein, mittels Gleichstrom erregtes, Feldmagnetsystem besitzen. Ein weiterer viel schwerer wiegender Umstand ist der, dass ein solcher Motor belastet nicht von selbst angeht. Man ist deshalb gezwungen, verschiedene Hilfsmittel in Anwendung zu bringen, um einphasige Wechselstrommotoren zum Betriebe tauglich zu machen. Diese Hilfsmittel bezwecken, den Motor zunächst unbelastet in den synchronen Lauf zu bringen, das heißt, ihm eine solche Tourenzahl zu geben, dass diese mit der Periodenzahl des Netzes übereinstimmt. So z. B. muss der Motor, wenn er die gleiche Polzahl wie die den Strom liefernde Dynamomaschine besitzt, ebenso viele Touren pro Minute machen wie die letztere.

Man kann zu diesem Behufe die Konstruktion des Motors z. B. so ausführen, dass man im Wechselstromkreis des Motors eine Hilfswicklung anordnet, so dass der eintretende Wechselstrom sich derart spaltet, dass in der Hilfswicklung ein gegen den eintretenden Strom phasenverschobener Strom fließt. Diese beiden Ströme erzeugen ein Drehfeld, welches den Anker in Gang setzt. Der Anker rotiert nun, völlig unbelastet, immer rascher und rascher, und in dem Augenblick, in welchem der Anker synchron läuft, wird er belastet, etwa durch Einrückung einer Kupplung. Statt eine Hilfswicklung anzuordnen, kann man auch die Feldspulen beim Anlassen in zwei Gruppen schalten, welche dann von den Strömen verschiedener Phase durchflossen werden. Ist der Motor in richtigem Gang, so werden wieder alle Spulen hintereinander geschaltet und der Motor läuft als Einphasenmotor weiter. Ein anderes Mittel, einen Einphasenmotor betriebsfähig zu machen, besteht in der Verwendung speciell eingerichteter Kupplungen. Eine solche Kupplung zeigt etwa folgende Einrichtung. Sie besitzt zunächst einen mit der Motorachse verkeilten Gusskörper, der mit Hohlräumen versehen ist. Der Motor gehe unbelastet an. Dieser eben erwähnte Gusskörper rotiert also. Die Hohlräume dieses Kupplungstheiles sind nun mit Glycerin gefüllt. In dem Maße, als die Tourenzahl des Ankers steigt, nimmt die Centrifugalkraft der Glycerinmasse zu, diese drängt nach der Peripherie des Gusskörpers und drückt gegen eine elastische Wand, welche ihrerseits auf einen, in der Längsachsenrichtung des Motors beweglichen Kupplungstheil einen Druck ausübt und diesen an die Riemenscheibe, welche nur lose auf der Ankerwelle sitzt, presst. Die Masse des Glycerins ist nun so bestimmt, dass dieser Andruck, welcher die belastete Riemenscheibe zum Rotieren zwingt, erst dann die genügende Größe besitzt, bis die Tourenzahl des Ankers dem Synchronismus entspricht; denn in dem Momente ist der Motor imstande, die Last zu ziehen. Die Erregung der Feldmagnete der Motoren geschieht gewöhnlich auf die Art, dass die Erreger-Dynamomaschine, welche den Gleichstrom liefert, auf der Achse des Motors sitzt. Wenn eine Erregermaschine vorhanden ist, wird diese gleichzeitig zum Anlassen des Motors verwendet, indem sie beim Anlassen des Einphasenmotors von einer Akkumulatorenbatterie mit Strom gespeist wird; sie wirkt also jetzt als Motor und setzt den Wechselstrommotor in Gang. Ist der synchtrone Lauf erreicht, dann wirkt sie als Dynamomaschine, versieht die Erregerwicklung des Wechselstrommotors mit Strom und kann noch dazu benützt werden, die Akkumulatorenbatterie wieder aufzuladen. Zu erwähnen wäre noch, dass kleinere Motoren einfach durch einen kräftigen Zug am Riemen in Bewegung gesetzt werden.

Eine andere Art von einphasigen Motoren sind die sogenannten asynchronen einphasigen Motoren. Diese Motoren haben als Anker einen Kurzschlussanker. Bringt man den Anker durch einen äußeren Antrieb in Rotation, so wird von einem bestimmten Augenblicke an der Anker selbständig weiter laufen und auch von selbst in den synchronen Lauf kommen, worauf er belastet werden kann. Wir sehen, dass diese Art von Wechselstrommotoren im Betriebe sich ungleich einfacher verhalten als die vorhin betrachteten synchronen Einphasenmotoren. Sie werden darum auch vielfach in Wechselstromanlagen angewendet und bieten den mehrphasigen Motoren in vielen Fällen erfolgreiche Konkurrenz. So ist es z. B. oft mit großen Betriebsschwierigkeiten verbunden, Motoren und Lampen gleichzeitig in mehrphasigen Netzen zu speisen, da, infolge der bei einem mehrphasigen Netze vorkommenden ungleichen Belastungen der einzelnen Zweige, Betriebsstörungen vorkommen können.

Eine ungemein große Bedeutung haben heutzutage die Drehfeldmotoren, die von zwei, drei oder mehr Wechselströmen gleicher Periodenzahl aber verschiedener Phase gespeist werden. Ihr Hauptvorzug liegt darin, dass sie belastet angehen, ohne weitere Hilfsmittel zu erfordern. Man unterscheidet sie im Wesentlichen auch in synchrone Drehfeldmotoren, das sind solche, bei welchen gewöhnlich der rotierende Theil, der Anker, durch Gleichstrom erregte Pole besitzt, und in asynchrone Drehfeldmotoren, das sind solche, die einen Kurzschlussanker besitzen. Bei diesen beruht also die Wirkung, die sie ausüben, auf der gegenseitigen Einwirkung von Drehfeld und den in den Ankerdrähten vom Drehfeld inducierten Strömen. Diese Ströme werden dadurch erzeugt, dass sich wegen der Reibungswiderstände, der Anker nicht synchron mit dem Felde bewegt, sondern eine geringere Umlaufszahl hat als das Drehfeld. Dieses Zurückbleiben des Ankers gegen das Drehfeld, das man Schlüpfung nennt, kann bei voller Belastung 4—10% der Umdrehungszahl des Feldes betragen. Man drückt die Schlüpfung durch folgende Formel aus:

$$S = \frac{N_1 - N_2}{N_1},$$

in welcher Formel N_1 die Umlaufszahl des Feldes per Sekunde und N_2 die sekundliche Umlaufszahl des Ankers bedeutet.

Die Drehfeldmotoren verhalten sich im Betriebe sehr günstig und lassen eine bedeutende Überlastung zu. Die Tourenzahl halten sie konstant, abgesehen von den kleinen Änderungen infolge der Schlüpfung. Um eine Änderung in der Tourenzahl von Mehrphasenmotoren zu bewirken, muss man das rotierende Feld derart beeinflussen, dass es pro Zeiteinheit weniger oder öfter umläuft, was durch Änderung in der Zahl

der Pole des Ständers, das ist des feststehenden, von den Wechselströmen durchflossenen Theiles des Motors, leicht bewirkt werden kann.

Beim Anlassen der Drehfeldmotoren wird ein Anlasswiderstand verwendet, um zu verhindern, dass beim Anlassen der Stromstoß in der Leitung zu groß werde. Das hätte nämlich zur Folge, dass eine momentane Spannungserniedrigung im Netze in dem Motoranschlusspunkte eintreten würde, und etwa gleichzeitig eingeschaltete Lampen würden sämmtliche im Momente des Einschaltens des Motors unruhig brennen.

Ein in der Zuleitung eingeschalteter Widerstand hat aber den Nachtheil, dass er nutzlos Energie verzehrt, es wird deshalb der Widerstand beim Anlassen meist in den Ankerstromkreis eingeschaltet. Diese Anlasswiderstände werden folgendermaßen angeordnet. Wird der Widerstand in die Zuleitung zum Motor geschaltet, so erhält jeder einzelne Zuleitungsdraht einen solchen Widerstand. Sind also, wie z. B. beim Dreiphasensystem drei Zuleitungen vorhanden, dann brauchen wir auch drei Widerstände.

In dem Maße als der Motor rascher und rascher läuft, werden die drei Widerstände gleichmäßig abgeschaltet. Sollen jedoch die Anlasswiderstände in den Ankerkreis geschaltet werden, dann bekommt der Anker beim Dreiphasensystem z. B. Dreiecks- oder Sternschaltung; beim Anlassen findet der Kurzschluss der Windungen mit Hilfe der Anlasswiderstände statt. In dem Maße, als sich der Gang des Motors dem normalen Laufe nähert, werden die Anlasswiderstände abgeschaltet und schließlich die Ankerdrähte in sich kurz geschlossen. Die Wirkung der Anlasswiderstände im Ankerkreis ist leicht zu verstehen. Beim Anlassen des Motors steht der Anker still, die Relativbewegung von Feld und Anker ist daher am größten und die Induktionswirkung von seiten des Feldes in den Ankerdrähten ebenfalls am größten. Vergrößern wir nun, durch das Einschalten von Widerständen, den Widerstand des Ankerkreises, dann verhindern wir, dass der in den Ankerdrähten inducierte Strom eine unzulässige Stärke annimmt. Lauft der Anker immer rascher und rascher, dann wird auch die Relativbewegung zwischen Feld und Anker kleiner, damit verringert sich auch die inducierende Wirkung des Feldes, und die Widerstände können allmählich abgeschaltet werden.

13. Die Ersparnis an Leitungsmaterial bei Wechselstromleitungen. Ein bedeutender Vortheil der elektrischen Kraftübertragung mittels ein- und mehrphasigen Strömen gegenüber der Kraftübertragung mittels Gleichstrom liegt darin, dass wir in den ersten Fällen weniger Kupfer für die Leitung brauchen als im letzten Falle. Der nächste Vortheil ist der, dass man den Wechselstrom, bevor man ihn in die Fern-

leitung schickt, auf eine beliebig hohe, noch zulässige Spannung hinauftransformieren kann, so dass dadurch der Strom in der Leitung herabgesetzt wird und wir daher mit bedeutend schwächer dimensionierten Leitungen auskommen. Der Vortheil der Mehrphasensysteme in Bezug auf den Kupferverbrauch der Fernleitung wird uns aus den folgenden Erwägungen klar werden.

Denken wir uns, wir hätten mittels Gleichstrom eine Energiemenge von $2\,E\,J$ Watt auf eine bestimmte Entfernung zu übertragen, wobei die Spannung an der Dynamomaschine E wäre; dann muss der Strom in der Leitung $2\,J$ betragen. Wir haben also zwei Leitungen nöthig, in welchen der Strom $2\,J$ fließt, für welchen Strom diese Leitungen auch dimensioniert werden müssen. Denken wir uns nun, wir hätten die gleiche Energiemenge mittels eines zweiphasigen Wechselstromes auf die gleiche Entfernung zu übertragen. Wir wollen annehmen, dass die beiden Ströme einen Phasenabstand von 90^0 besitzen. Eine zweiphasige Anlage können wir uns entstanden denken aus zwei selbständigen einphasigen Kreisen. Nachdem wir die Energiemenge $2\,E\,J$ übertragen wollen, nehmen wir an, jeder Kreis besitze die effektive Spannung E an der Dynamomaschine und werde vom effektiven Strome J durchflossen. Nun können aber zwei solche Kreise derart geschaltet werden, dass nur eine Rückleitung in Verwendung kommt. Der Strom, der dann in der gemeinsamen Rückleitung fließt, beträgt, wenn die einzelnen Phasenströme $J \sin \alpha$ und $J \cos \alpha$ sind,

$$J \sin \alpha + J \cos \alpha = J \,.\, 2 \sin (\alpha + 45) \,.\, \cos 45 = J \,.\, 1{\cdot}414.$$

Wir haben also zwei Leitungen, von denen jede für den Strom J dimensioniert ist und eine Rückleitung vom Strome $1{\cdot}414\,J$ durchflossen und für diesen auch dimensioniert. Wir haben also bei Verwendung von Gleichstrom zwei Leitungen, jede für den Strom $2\,J$ berechnet, zu verwenden, was gleichbedeutend ist mit einer Leitung, bestimmt für den Strom $4\,J$. Bei der entsprechenden zweiphasigen Wechselstromkraftübertragung haben wir zwei Leitungen, jede für den Strom J und eine Leitung für den Strom $1{\cdot}414\,J$ bestimmt, welche Leitungen gleichwertig sind einer Leitung, von der Länge jeder der eben erwähnten Leitungen, belastet mit dem Strome $3{\cdot}1414\,J$. Es verhalten sich also die Ströme und dadurch auch die für ihre Fortleitung aufgewendeten Kupfermassen wie $4 : 3{\cdot}414$. Wir erkennen aus diesem Verhältnisse, dass wir bei der Verwendung von zweiphasigem Wechselstrom thatsächlich an Kupfer sparen.

Nehmen wir nun ein dreiphasiges System an und vergleichen wir dasselbe mit dem entsprechenden Gleichstromsysteme. Wir hätten eine Energiemenge von $3\,J\,E$ Watt zu übertragen. Hat die Gleichstrom-

maschine die Klemmspannung E, dann muss durch die Leitung der Strom $3\,J$ fließen. Wir haben in diesem Falle also 2 Leitungen, durchflossen vom Strome $3\,J$, was gleichbedeutend ist einer Leitung, durchflossen vom Strome $6\,J$. Bei Verwendung eines dreiphasigen Systemes mit Sternschaltung und einem Phasenabstand von je 120^0 zwischen 2 Strömen, bei welchem Systeme die Spannung jeder Phase E beträgt, fließt dann durch jede Hinleitung der Strom J und durch die vorhanden gedachte gemeinsame Rückleitung bekanntlich der Strom O.

Wir haben in diesem Falle also 3 Leitungen, durchflossen vom Strome J, was wieder gleichwertig ist einer Leitung, durchflossen vom Strome $3\,J$. Es verhalten sich also die für die Fernleitungen aufgewendeten Kupfermassen in diesen beiden Fällen wie $6:3 = 2:1$. Wir ersparen also bei der Verwendung von dreiphasigem Strome die Hälfte des Kupfers.

Die Ersparnis stellt sich aber nach der folgenden Erwägung noch größer. Man lässt nämlich gewöhnlich bei der Berechnung der Fernleitungen von vornherein einen bestimmten Spannungsverlust zu. Die Hälfte dieses Spannungsverlustes kommt dann auf die Hinleitung und die andere Hälfte auf die Rückleitung. Nachdem wir nun bei den Mehrphasensystemen keine Rückleitung haben, können wir den ganzen Spannungsverlust bei der Berechnung der Hinleitung in Anschlag bringen, und die Fernleitung kann schwächer dimensioniert werden. Ferner ist auch zu bedenken, dass wir durch die Verwendung von Transformatoren auch bei Mehrphasensystemen den Strom in die Fernleitung mit großer Spannung schicken, was zur Folge hat, dass der Linienstrom kleiner gewählt werden kann, wodurch wieder die Leitung schwächer wird.

Die Fernleitungen werden gewöhnlich blank, mittels Isolatoren an vertikalen Stangen befestigt, geführt. In den Verbrauchsorten selbst wird die Leitung meist in die Erde verlegt. Als Leitungsmaterial verwendet man meist hart gezogenes Kupfer, Silicium- und Phosphorbronce, sowie in neuerer Zeit auch Aluminium. Das verwendete Leitungsmaterial soll einerseits eine große Zugfestigkeit, andererseits auch eine große Leitungsfähigkeit besitzen. Leider nimmt die Leitungsfähigkeit mit der Zugfestigkeit ab, was aus der folgenden Tabelle leicht zu ersehen ist.

Material	Zugfestigkeit in *kg* pro *mm*^{2}	Leitungsfähigkeit
Reines weiches Kupfer . . .	26	100
Hart gezogenes Kupfer . . .	46	97
Siliciumbronce II	56	80
Phosphorbronce	71	26
Stahl	91	10

Die modernen Bestrebungen gehen dahin, die bei solchen Kraftübertragungen verwendeten Spannungen möglichst hoch zu wählen. Die natürliche Grenze finden diese Bestrebungen in dem Umstande, dass bei zu hoch gewählten Spannungen ein Übertritt der Elektricität aus dem Drahte in die Luft stattfindet.

Die bei den Fernleitungen in Verwendung kommenden Maste sind dieselben wie in der Telegraphentechnik. Die gebräuchlichsten Isolatoren sind die Ölisolatoren. Besondere Sorgfalt wird bei den Kraftübertragungsanlagen, speciell bei Anwendung hoher Spannung, auf gut und sicher funktionierende Blitzschutzvorrichtungen gelegt.

14. Der elektrische Antrieb in Werkstätten. Eine der vorzüglichsten neuen Anwendungen der elektrischen Arbeitsübertragung ist die zum Betriebe der in den Werkstätten verwendeten Arbeitsmaschinen, sowohl Werkzeugmaschinen, als auch Krahne. Der Antrieb der Werkzeugmaschinen kann in zweierlei Weise erfolgen: 1. Als Gruppenantrieb, bei welchem ein Motor eine ganze Gruppe von Werkzeugmaschinen treibt, die auf gewöhnliche Weise an eine Transmission angeschlossen sind, oder 2. Als Einzelantrieb, bei welchem jede Werkzeugmaschine für sich einen Motor besitzt. Bei modernen Werkstättenanlagen wird fast durchwegs der Einzelantrieb dem Gruppenantrieb vorgezogen. Wir wollen im Folgenden die Vortheile des elektrischen Antriebes der Werkstätten darthun. Ein Hauptvortheil liegt in dem Umstande, dass die Krafterzeugung vollständig centralisiert ist. Der elektrische Strom kann entweder in der Fabrik selbst erzeugt werden oder aber, wo sich am Orte eine elektrische Centrale befindet, kann der Strom von dieser bezogen werden. Eine centralisierte Krafterzeugung ist nun selbstverständlich viel ökonomischer als eine decentralisierte. In den Werkstätten fallen die vielen mechanischen Transmissionen vollständig fort. Dieser Umstand ist für den Werkstättenbetrieb von ganz besonderer Bedeutung. Fürs erste wird dadurch eine ganze Reihe von Unglücksfällen vermieden, deren Ursache die Transmissionen sind, besonders die Transmissionsriemen. Die Werkstätte selbst wird durch den Wegfall der vielen Wellen und Riemen lichter und luftiger, die so gesundheitsschädliche Staubaufwirbelung in den Werkstätten durch die Transmissionen fällt weg. Als ganz besonders vortheilhaft erweist sich aber der elektrische Antrieb für den Fabrikationsgang selbst. Beim gewöhnlichen Transmissionsantrieb ist man in der Anordnung der Maschinen sehr beschränkt. Man ist darum genöthigt, die Werkstücke oftmals auf weitere Strecken zu transportieren, um sie auf die Arbeitsmaschinen zu bringen, die der Fabrikationsgang gerade benöthigt. Der Transport der Werkstücke ist bei fehlenden Transmissionen und Transmissionsriemen ein bedeutend leichterer und die Bewegungs-

freiheit der Krahnkette und des Krahnhakens eine sehr große. Die Werkzeugmaschinen können viel enger aneinander gerückt und so gestellt werden, dass sie gut beleuchtet sind, was sonst oft nicht möglich ist, weil sich die Deckentransmission in vielen Fällen nicht dementsprechend anordnen lässt.

Gegen den elektrischen Einzelantrieb wurden manche Bedenken erhoben. Ein Haupteinwand war der Kostenpunkt, nachdem ja bei dieser Art von elektrischem Antrieb jede Maschine einen Elektromotor bekommen muss. Dann wurde der Einwand erhoben, dass der Stromverbrauch beim Einzelantrieb ein besonders hoher sein muss.

Nun sind aber thatsächlich die Mehrkosten der Anlage gegenüber dem reinen Transmissionsantrieb keine bedeutenden, wenn man bedenkt, was man alles an Transmissionskosten erspart, wenn man den elektrischen Antrieb wählt. Statt der vielen Lager, Wellen und Riemen benöthigt man bloß einfache Drahtleitungen. Der ganze Werkstättenbau kann leichter ausgeführt werden, da ja die Belastung der Decke, der Wände und der Säulen eine wesentlich geringere geworden ist. Der Einwand des großen Stromverbrauches ist nicht stichhältig, da ja zu bedenken ist, dass zumeist eine große Anzahl von Werkzeugmaschinen nicht in Betrieb ist und thatsächlich hat sich durch Erfahrung gezeigt, dass der Transmissionsantrieb nur in dem Falle günstiger als der elektrische Antrieb ist, wenn sämmtliche Bänke mit der größten Umlaufszahl und der größten Belastung laufen. Die Werkzeugmaschinen werden für den elektrischen Antrieb entweder von Haus aus oder nachträglich eingerichtet. Wo es geht, setzt man den Motor, und zwar verwendet man mit Vorliebe Drehstrommotoren mit Kurzschlussankern, auf die anzutreibende rotierende Welle der Maschine, wenn das nicht möglich ist, wird der Motor irgendwo auf der Maschine situiert und der Antrieb der Welle erfolgt mittels Riemen und Riemenscheibe. Die Inbetriebsetzung und Abschaltung derart angetriebener Werkzeugmaschinen ist natürlich ungemein einfach. Ein einfacher Schalter genügt. Was die Wahl des Motors anbelangt, wird ein solcher in die Werkzeugmaschine eingebaut, dessen Nennleistung dem für die höchste Umlaufszahl der Bank bei Leerlauf gefundenen Kraftbedarf gleich ist, denn es zeigt sich, dass bei einer solchen Wahl der Motor bei allen beim Betriebe vorkommenden Umdrehungszahlen mit dem größten Wirkungsgrad arbeitet. Eine wesentliche Forderung, die man an den Motor stellt, ist die, dass er Überlastungen bis zu 50% seiner Nennleistung aushält.

Specielle Einrichtungen zeigen die elektrisch betriebenen Werkstätten-Laufkrahne. Um dem Lasthaken die verschiedenen gewünschten Bewegungen zu ertheilen, kann die Einrichtung auf zweierlei

Weise getroffen werden. Es kann 1. nur ein Motor vorhanden sein, und die verschiedenen Bewegungen des Lasthakens werden durch Einrücken von verschiedenen Kupplungen bewirkt. Der Motor ist entweder auf der Krahnbühne montiert, und zwar in der Mitte oder auf der Seite oder schließlich auf der Laufkatze. Die Einrichtung kann 2. auch so getroffen werden, dass für jede Bewegung des Hakens ein specieller Motor vorhanden ist. Der Krahn besitzt dann drei Motoren, und zwar sitzen dann zwei Motoren gewöhnlich auf der Laufkatze und der dritte Motor auf der Krahnbühne. Die Antriebsmotoren können Gleichstrommotoren, Einphasen- oder Mehrphasenmotoren sein. Bei den Einmotorenkrahnen befindet sich der Motor in beständigem Umlaufe, bei den Mehrmotorenkrahnen wird jeder Motor nur im Bedarfsfalle eingerückt. Bei den Mehrmotorenkrahnen werden meist Gleichstrommotoren verwendet. Von ganz besonderer Wichtigkeit sind beim Krahnbetriebe die Bremsen, speciell beim Senken einer Last, denn in diesem Falle muss die lebendige Kraft des niedergehenden Gewichtes, des Ankers und des Getriebes abgebremst werden. Als Bremse funktioniert zunächst eine elektrische Bremse, indem nämlich der Motor, als Dynamomaschine wirkend, seinen Strom in Belastungswiderstände schickt. Nachdem aber durch den Motor, dessen Bremswirkung durch den Umstand bedingt ist, dass er sich in Bewegung befindet, keine vollständige Bremsung möglich ist, findet noch eine mechanische Bremse Verwendung. Als solche wählt man gewöhnlich eine Lösungsbremse. Die mechanische Bremse wird durch die Kraft einer Feder oder eines Gewichtes bethätigt und durch einen Zugelektromagneten gelüftet, der in Wirksamkeit tritt, sobald der Strom die Wicklungen des Magneten durchfließt. Die verschiedenen nothwendigen Schaltungen werden mit Hilfe eines Kontrollers ausgeführt, der die ähnliche Bauart zeigt, wie die demselben Zwecke dienenden Apparate bei den elektrischen Bahnen. Es müssen Schaltungen vorgesehen werden, um das Vorwärts- und Rückwärtsgehen des Motors zu bewerkstelligen und mehrere Bremsstellungen für die elektrische Bremse, sowie für die mechanische Bremse vorhanden sein. Die Regulierung der Motorgeschwindigkeiten erfolgt durch Vorschaltwiderstände.

Ein sehr interessantes Krahndetail sind die manchmal statt der gewöhnlichen Haken angewendeten Hebeelektromagnete. Ein solcher Hebeelektromagnet, der bei einer Erregungsspannung von 20—30 Volt 3—4 Ampère verbraucht und dabei mehr als 1600 *kg* zu heben imstande ist, befindet sich zum Heben von Geschoßen im Royal Arsenal zu Woolwich. Eine ähnliche Einrichtung ist auch im Blechwalzwerk der Illinois Steel Co., wo sie dazu dient, Roheisenblöcke zu heben. Dieser Hebeelektromagnet verbraucht beim Heben einer Last von 5000 *kg* 4—5 Ampère bei 240 Volt Erregungsspannung.

Die Stromzuleitung und die Stromabnahme findet bei elektrisch betriebenen Laufkrähnen in sehr einfacher Weise statt. Die Stromzuleitungsdrähte sind an der Längsseite der Werkstätte montiert, sind gewöhnlich bloß an den Enden der Werkstätte befestigt, ansonsten hängen sie frei durch und werden nur streckenweise unterstützt. Zur Stromabnahme dienen Rollen, Schleifkontakte, die, hakenförmig gekrümmt, den Stromleitungsdraht von unten umfassen, oder Bügel.

15. Elektrische Aufzüge. Die elektrisch betriebenen Aufzüge sind in ihrem mechanischen Theile gerade so gebaut, wie die nicht elektrisch betriebenen. Besondere Einrichtungen zeigt nur der elektrische Antrieb. Die Fahrgeschwindigkeit bei Lasten- und Personenaufzügen ist gewöhnlich 0·8 *m* per Sekunde, bei schnellfahrenden Aufzügen 1—2 *m* per Sekunde. In Amerika sind Aufzüge mit 3 *m* und darüber Fahrgeschwindigkeit in Betrieb. Die Lastenaufzüge in Werkstätten besitzen gewöhnlich eine Fahrgeschwindigkeit von 0·3 *m* per Sekunde. Der Antrieb erfolgt mittels Gleichstrom-, Wechselstrom- oder Drehstrommotoren entweder direkt, mit Benutzung einer Winde, oder die Aufzüge sind lediglich elektrisch betriebene Transmissionsaufzüge. Schließlich gibt es noch die sogenannten hydroelektrischen Aufzüge, das sind hydraulisch betriebene Aufzüge, bei welchen die Presswasserpumpen elektrisch angetrieben werden. Besondere Sorgfalt erfordern bei Aufzügen die Sicherheitsvorrichtungen. So muss der Fahrstuhl in der obersten und untersten Stellung selbstthätig zum Stillstande gebracht werden können. In diesen Stellungen muss eine selbstthätige Abstellung des Motors und Auslösung einer kräftigen Bremse erfolgen. Es muss auch Vorkehrung getroffen werden, dass der Hauptstrom sofort unterbrochen wird, wenn die Fangvorrichtung des Fahrstuhles in Thätigkeit tritt oder das Tragseil durch Einwirkung eines Geschwindigkeitsregulators geklemmt wird. Solange auch nur eine der Schachtthüren offen ist, muss es unmöglich sein, den Fahrstuhl in Bewegung zu setzen. Zu diesem Zwecke befindet sich gewöhnlich an jeder Schachtthüre ein Hauptausschalter, der nur geschlossen ist, wenn die Thüre durch den Thürriegel in vollkommen normaler Weise geschlossen ist. Die Thüre darf nur geöffnet werden können, wenn der Stuhl gerade vor ihr steht. Die Steuerung erfolgt mittels eines einfachen Steuerseiles, einem Handrade, einem Steuerhebel oder einer elektrischen Stromschlussvorrichtung. Das Steuerseil steuert gewöhnlich nur, der Anlasser arbeitet selbstthätig. Die Einrichtung kann auch so getroffen werden, dass der Anlasser vom Fahrstuhl aus bethätigt wird. An Bremsen sind immer zwei vorhanden, eine mechanische und eine elektrische. Verwendet man statt Gleichstrommotoren einphasige Wechselstrommotoren, so ist man gezwungen, ent-

weder den Motor dauernd laufen zu lassen, oder man ordnet das Steuerseil so an, dass beim Ziehen an demselben, neben dem Feld- und dem Ankeranlasser, auch eine Hilfsphase eingeschaltet wird, wodurch der Motor belastet angeht. Die Hilfsphase wird während des Betriebes selbstthätig abgeschaltet, der Anlasswiderstand kurz geschlossen. Besondere Ausführungsformen von Hebevorrichtungen sind die Rolltreppen, die aus einem im beständigen Umlaufe befindlichen Lattentuch bestehen. Solche Rolltreppen waren z. B. bei der Pariser Weltaustellung im Jahre 1900 sehr stark in Gebrauch. Ferner sind noch die Kletteraufzüge zu erwähnen, bei welchen der Motor, unterhalb einer bewegten Plattform montiert, durch den Antrieb einer Welle, an der Zahnräder befestigt sind, die in seitlich im Schachte montierte Zahnstangen eingreifen, ein Auf- und Niedergehen der Plattform bewirkt.

Unübersehbar ist die stattliche Reihe von Hebezeugen und maschinellen Vorrichtungen, bei welchen der elektrische Antrieb den mechanischen Antrieb verdrängt hat. Nur erwähnen wollen wir den elektrischen Antrieb von Drehkrahnen, Schiffskrahnen, Elevatoren, Baggern, Spills, Schiffshebewerken, Schiebebühnen, Drehscheiben, Winden und Fördermaschinen.

II. Kapitel.

Elektrische Eisenbahnen.

16. Geschichte. Die Geschichte der elektrischen Eisenbahnen, einer besonderen Anwendung der elektrischen Kraftübertragung, führt uns einen gemeinsamen Weg mit der Geschichte der letzteren.

Sowie auf vielen Gebieten der praktischen Elektrotechnik beseitigte die Firma Siemens & Halske A.-G. auch im elektrischen Eisenbahnwesen die letzten Hindernisse. Während bisher die elektrische Eisenbahnen aus dem Stadium der Versuche nicht herausgetreten waren, betrieb die genannte Firma im Jahre 1879 auf der Berliner Industrie-Ausstellung die erste praktisch brauchbare elektrische Eisenbahn.

In Österreich-Ungarn war die erste elektrische Eisenbahn von B. Egger im Jahre 1880 auf der Wiener Gewerbe-Ausstellung zu sehen. Im Jahre 1883 eröffneten Siemens & Halske A.-G. den Betrieb der Bahn in Lichterfelde; in demselben Jahre führten Field & Edison eine elektrische Bahn auf der Ausstellung in Chicago, etwa 1 *km* lang, vor. Seit dieser Zeit datieren die großartigen Fortschritte der elektrischen Bahnen in Amerika, während der Bau derselben in Europa

erst begonnen hat. Im Jahre 1888 wurde in Richmond eine elektrische Bahn mit 20 Motorwagen in Betrieb gesetzt. Den schon in den nächsten Jahren folgenden enormen Aufschwung des elektrischen Bahnwesens gegenüber den Pferde-, Kabel- und Dampfbahnen zeigt die folgende Tabelle, welche ich einem Vortrage, gehalten von Hugo Koestler im Elektrotechnischen Verein in Wien am 14. Februar 1894, entnommen habe.

Jahr	Geleiselänge in *km*					Wagen im Betriebe
	Pferde	Elektricität	Kabel	Dampf	Zusammen	
1880	5116	—	52	805	5973	18000
1885	6231	13	280	870	7394	22200
1890	9058	2019	781	1138	12996	32505
1891	8488	6498	950	1018	16949	35877
1892	7136	9502	1034	992	18664	37399
1893	6720	10090	1100	1040	18910	38500

Diese epochemachende Entwicklung verdanken die elektrischen Bahnen in Amerika Field, Edison, Van Depoele, Daft, Henry, Sprague, Eickmeyer, Rae, Sperry, Short und Anderen. Die in der Tabelle angegebenen elektrischen Bahnen fahren mit einer Geschwindigkeit von 15 bis 40 *km* in der Stunde, die Kabelbahnen mit 15 bis 20 *km* in der Stunde, der Fahrpreis auf den elektrischen Bahnen beträgt 5 Cents (20 Pfennige, 25 Heller).

17. Oberleitungsmaterialien. [1]) Die Maste, Fig. 17 bis 19, sind Mannesmannrohrmaste mit gusseisernen Sockeln, Zierringen und Zierkappen aus Zinkblech. Fig. 19 stellt einen Mast mit Ausleger dar. Außerhalb der Städte finden Maste mit einfacherer Ausführung Verwendung. Die Abmessungen der Maste werden so gewählt, dass die größten Durchbiegungen innerhalb einer für das Auge noch zulässigen Grenze bleiben. Zur Anwendung kommen viererlei Masttypen, um den verschiedenen Anforderungen der Kurvenspannungen Rechnung tragen zu können. Die Maste weisen je nach der Länge bei einem Horizontalzuge von 225, beziehungsweise 350, 550 und 1000 *kg* größte Durchbiegungen von 100 bis 120 *mm* auf. Dieselben sind 1·6 bis 2 *m* tief in den Boden einbetoniert und der Durchbiegung entsprechend geneigt auf-

[1]) Im Folgenden werden die Materialien von der Firma Siemens & Halske A.-G. beschrieben. Vgl. P. Poschenrieder, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1899, Heft 6, S. 66 und 1900, Hefte 35 und 36. Das Oberleitungsmaterial der Allg. Elektricitätsgesellschaft in Berlin wurde in der Elektrotechnischen Zeitschrift, 1899, S. 493 veröffentlicht.

gestellt. Fig. 20 zeigt eine Schelle für die Rohrmaste Fig. 17 und 18. Fig. 21 veranschaulicht eine Gabelschraube zu der Mastschelle Fig. 20 und zu den Wandplatten.



Fig. 17.
Rohrmast, verziert, mit niederem Sockel.



Fig. 18.
Rohrmast, verziert, mit hohem Sockel.

Als Fahrdraht dient Hartkupferdraht (Siliciumbronzedraht) von 8 *mm* Durchmesser, 40 *kg* Festigkeit für 1 mm^2, 98% Leitungsfähigkeit bezogen auf reines Kupfer, rund 44·5 *kg* Gewicht für 100 *m* in Bundlängen bis zu 1000 *m*. Der Fahrdraht wird mit Hilfe verzinkter Stahldrähte von 5 und 6 *mm* Durchmesser und einer Zerreißfestigkeit von 75 *kg* für 1 mm^2 theils an Masten, theils an Wandrosetten aufgehängt und verspannt. Die Verspannung erfolgt in der Weise, dass der tiefste Punkt des Arbeitsdrahtes sich noch 5·5 *m* über Schienenoberkante befindet. Die Erdleitung besteht aus Weichkupferdraht von 6·68 *mm* Durchmesser. Dieser Draht hat eine Zerreißfestigkeit von 24 *kg* für 1 mm^2, eine Leitungsfähigkeit von 98 % des reinen Kupfers und ein Gewicht von rund 31·50 *kg* für 100 *m*.

Zum Festhalten des Arbeitsdrahtes in seiner Lage werden verschiedene Isolatoren und Spannvorrichtungen verwendet. Der Grundsatz der doppelten Isolation ist ausnahmslos durchgeführt. Es müssen daher die Spann- und Querdrähte, welche vom Arbeitsdrahte durch die Aufhängevorrichtungen bereits einmal isoliert sind, nahe den Stützpunkten (Masten, Wandplatten oder Wandhaken) nochmals isoliert werden.



Fig. 19. Rohrmast sammt Ausleger für Holz-, Rohr- und Gittermaste.

Die zum Verankern des Arbeitsdrahtes (Fahrdrahtes) dienenden Stahldrähte werden sowohl vom Arbeitsdraht als auch von den Stützpunkten durch besondere Isolatoren isoliert.

Die einfachste Form der Isolatoren zeigt Fig. 22. Ein stählener Bolzen, in welchen der zu verspannende Stahldraht eingebunden wird, ist an seinem Kopfende mit einer dickwandigen Schicht aus Hartgummi besonderer Sorte umpresst, und in einem zweitheiligen Gehäuse aus Temperguss gefasst. Die beiden Hälften der Gehäuse sind vernietet und haben eine Öse zum Einhängen in die Gabelschrauben der Mastschellen und Wandplatten, beziehungsweise zum Einbinden der Verankerungsdrähte.



Fig. 20. Schelle für Rohrmaste.

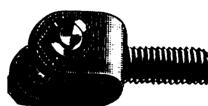


Fig. 21. Gabelschraube zu den Mastschellen und Wandplatten.

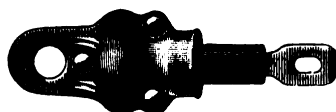


Fig. 22. Zugisolator für Endabspannungen.

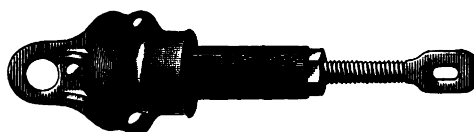


Fig. 23. Isolierte Spannvorrichtung für Querdrähte.

Soll der Isolator — behufs leichterer Montage — ein Nachspannen des Quer- oder Spanndrahtes gestatten, so wird die „Isolierte Spannvorrichtung", Fig. 23, verwendet. Diese unterscheidet sich von dem eben beschriebenen Isolator nur dadurch, dass bei ihr der stählerne Bolzen durch einen hohlen Körper aus Temperguss ersetzt ist, in den sich die Öse für den Drahtbund einschrauben lässt.

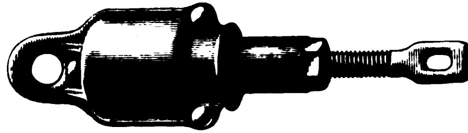


Fig. 24. Isolierte Spannvorrichtung mit Schalldämpfung.



Fig. 25. Kleine, verzierte Wandplatte.



Fig. 26. Große, verzierte Wandplatte.



Fig. 27. Wandhaken mit Rosette und Stellring.

Durch den Wind und durch Erschütterungen aller Art im Oberleitungsnetze werden lästige Geräusche hervorgerufen. Es muss daher dafür gesorgt werden, dass sich diese Geräusche nicht in die Mauern

bewohnter Räume fortpflanzen. Es findet deshalb bei allen jenen Isolatoren, die an den Wänden der Häuser befestigt werden müssen, eine Schalldämpfung Verwendung. Letztere besteht aus einer Anzahl scheibenförmiger Ringe aus Kork und Weichgummi, die wechselweise auf den hohlen Bolzen des Isolators aufgeschoben werden und so eine unmittelbare Berührung des Isolatorbolzens mit dem Gehäuse vermeiden. Einen solchen Schalldämpfer veranschaulicht Fig. 24. Aus demselben Grunde befinden sich in den an den Wänden angebrachten Wandplatten, Fig. 25 und 26, und Wandhaken, Fig. 27, noch überdies dicke Einlagen aus Weichgummi.



Fig. 28. Nichtisoliertes Spannschloss für Verankerungsdrähte.

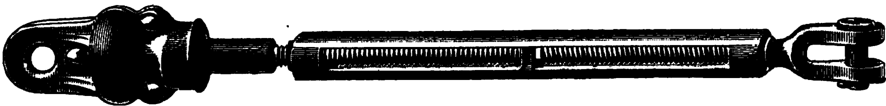


Fig. 29. Isoliertes Spannschloss für Verankerungsdrähte.



Fig. 30. Isoliertes Spannschloss mit Schalldämpfung für Verankerungsdrähte.

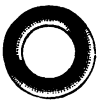


Fig. 31.
Großer Luftring, verzinkt.



Fig. 32.
Kleiner Luftring, verzinkt.

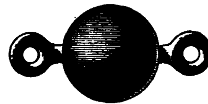


Fig. 33.
Kugelweitspanner.



Fig. 34. Einfache Aufhängung.



Fig. 35. Tragklemme.

Für die Verankerungen und Endabspannungen der Arbeitsdrähte (Streckenisolatoren u. s. w.) genügt die beschränkte Nachstellbarkeit der isolierten Spannvorrichtung nicht mehr. Für diesen Zweck ist ein Spannschloss, Fig. 28 bis 30 vorgesehen, dessen eine Schraube sowie in Fig. 22 mit einem gummiumpressten Stahlbolzen und Tempergussgehäuse versehen ist. Zur Herstellung von Knotenpunkten für Spanndrähte dienen die Luftringe Fig. 31 und 32.

Wenn hier noch des gebräuchlichen Kugelweitspanners, Fig. 33, zur Isolierung von Verankerungsdrähten gegen den Fahrdraht Erwähnung geschieht, welcher an Stelle des Zugisolators, Fig. 22, treten kann, so ist bisher aller jener Theile gedacht, welche dem Zwecke dienen, die Stahldrähte von den sie tragenden Wänden bzw. Masten zu isolieren.

Die isolierte Verbindung des Fahrdrahtes mit den Quer- und Spanndrähten besorgen die sogenannten „Aufhängungen". Für gerade Bahnstrecken wird normal die Aufhängung. Fig. 34 verwendet. In einem zweitheiligen Temperguss-Gehäuse ist ein mit Hartgummi umpresster Stahlbolzen eingeschlossen, der an seinem unteren freien Ende ein Gewinde zum Befestigen der bronzenen Drahtklemme, Fig. 35, besitzt.

Letztere ist gleichfalls zweitheilig und umfasst den Fahrdraht so, dass dessen Unterseite über die Klemme vorsteht, wodurch ein ununterbrochenes sanftes Gleiten des Stromabnehmer-Bügels ermöglicht wird. In kurzen, eingeleisigen Bahnstrecken, die sich zwischen zweigeleisigen befinden (wie dies beim Befahren enger Straßen häufig vorkommt) wird die Doppelaufhängung, Fig. 36, angewendet, um den Arbeitsdraht ununterbrochen durchführen zu können und dadurch die Verankerung desselben zu ersparen.

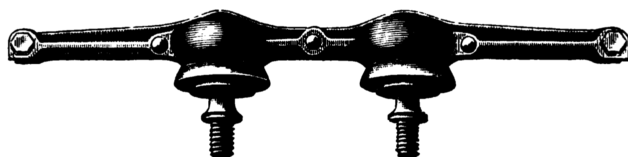


Fig. 36. Doppelaufhängung.

Für Brücken, Remisen u. dgl. kommt eine besondere Aufhängung, Fig. 37, in Anwendung, welche direkt an Holzbalken u. dgl. befestigt wird. Diese Konstruktionstheile für gerade Strecken unterscheiden sich grundsätzlich nicht von solchen, wie sie bei Oberleitungssystemen mit Kontaktrollen gebräuchlich sind. Kurvenstrecken müssen jedoch der Eigenart des Bügels entsprechend durchgebildet werden, damit sich dieser beim Gleiten unter einer Aufhängung nirgends ver-

fängt. Ist es in geraden Strecken durch einfache Verlängerung des Drahtbolzens möglich, den senkrechten Abstand zwischen Fahr- und Querdraht beliebig zu vergrößern, so muss man in den Kurven wegen der starken radialen Züge, die dort zum Verspannen des Fahrdrahtes nöthig sind, die sogenannten Zusatzdrähte verwenden. Letztere

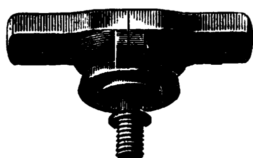


Fig. 37. Aufhängung für Wagenschuppen und Brücken.

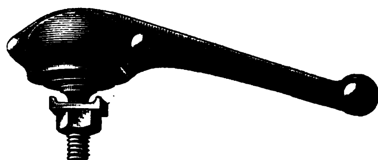


Fig. 38. Einarmige Aufhängung für Bögen.

bestehen aus Fahrdrahtstücken von 2·5 bis 3 *m* Länge, die mit ihren Enden an der Unterseite des Arbeitsdrahtes angelöthet werden. Die Richtung des Kurvenzuges fällt nun zwischen die beiden in einer gewissen Entfernung von einander gehaltenen Drähte, wodurch ein genügend großer, senkrechter Abstand zwischen dem unteren als Fahrdraht dienenden Zusatzdrahte und dem Spanndrahte erzielt wird. Dadurch erscheint ein Anschlagen des Bügels an den Spanndraht ver-

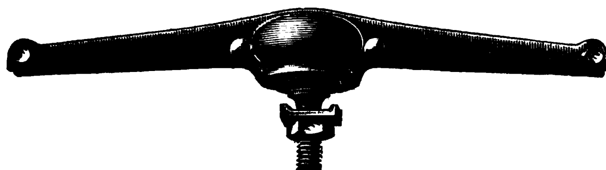


Fig. 39. Zweiarmige Aufhängung für Bögen.

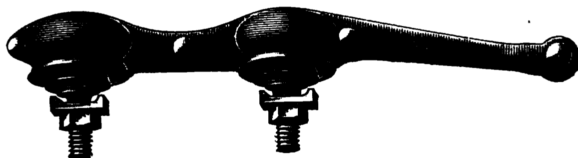


Fig. 40. Einarmige Doppelaufhängung für Bögen.

hindert. Diesen Bedingungen entsprechend sind sämmtliche Aufhängungen in Kurven mit einer Klemmvorrichtung für den Arbeitsdraht und mit einer normalen Drahtklemme versehen, welche den Zusatzdraht aufnimmt. Für eingeleisige bezw. für die inneren Kurven zweigeleisiger Strecken dient die einarmige Aufhängung Fig. 38, für die äußere Kurve zweigeleisiger Strecken die zweiarmige Kurven-

aufhängung Fig. 39. Gleichem Zwecke, wie für gerade Strecken beschrieben, dienen die Doppelaufhängungen, Fig. 40 und Fig. 41.

Da die Kurvenaufhängungen sehr starken Zügen ausgesetzt sind, müssen dieselben bedeutend kräftiger gebaut werden, als die Aufhängungen für gerade Strecken; letztere haben nur den Fahrdraht zu tragen.

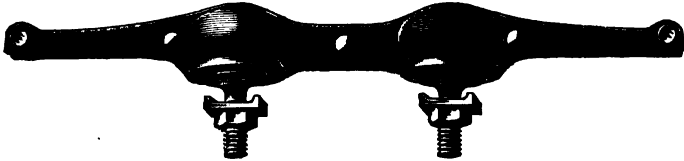


Fig. 41. Zweiarmige Doppelaufhängung für Bögen.

Auch die Bauart der Klemmen ist den verschiedenen Bedürfnissen angepasst. Die normale Tragklemme, Fig. 35, wurde bereits erwähnt. Zum Verankern, also zum Auffangen des Zuges im Arbeitsdrahte wird die Klemme, Fig. 42, benützt; diese ist wegen des kräftigen Fassens gegenüber der Tragklemme etwas verlängert und mit Ösen versehen, in welche die Verankerungsdrähte eingezogen werden. Zur Verbindung zweier Drahtenden beim Stoß dient die Klemme, Fig. 43, welche gleichzeitig auch für Weichen benützt werden kann. Das Anschließen von Stromleitungen besorgt die Klemme Fig. 44. Dieselbe wird einerseits an den Fahrdraht geklemmt, andererseits mit dem Zuleitungskabel verlöthet. Bei allen Kreuzungen wird die Klemme Fig. 45 eingebaut, die sich dem jeweiligen Winkel, unter dem die Drähte zu liegen kommen, vollkommen anpasst. Fig. 46 zeigt eine



Fig. 42. Verankerungsklemme.



Fig. 43. Stoß- und Weichenklemme.

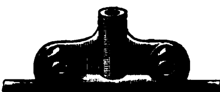


Fig. 44. Leitungsanschlussklemme.

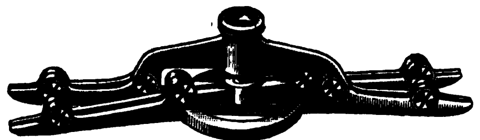


Fig. 45. Kreuzungsklemme.

Tragklemme für Leitungsanschluss, Fig. 47 eine Stoßverbindung zwischen den Aufhängungen, Fig. 48 einen Reiter für Weichen. Die Klemmen bestehen aus Phosphorbronze, die Reiter aus verzinktem Schmiedeeisen.

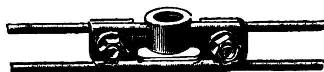


Fig. 46. Tragklemme für Leitungsanschluss.

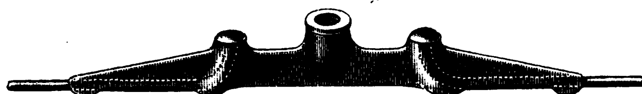


Fig. 47. Stoßverbindung zwischen den Aufhängungen.

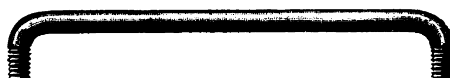


Fig. 48. Reiter für Weichen.

Für längere Linien wird aus Sicherheits- und Betriebsrücksichten eine Streckentrennung nöthig. Zu diesem Zwecke wird der in Fig. 49 dargestellte Isolator in die Arbeitsleitung eingebaut. Die Theile desselben sind ganz im Sinne der Aufhängung ausgebildet. Zur sicheren Führung des Bügels werden auch hier an den beiden Anlaufstellen desselben Zusatzdrähte eingelöthet.

Der in dieser Figur abgebildete Streckenisolator mit zwei Zusatzdrähten wiegt rund 5·20 *kg*, ein ebenfalls von der Firma Siemens & Halske A.-G. konstruierter Streckenauschalter mit Nachspannvorrichtung dagegen 7·00 *kg*. Zur Isolierung wird Hartgummi und Holz verwendet.

In Entfernungen von 300 bis 600 *m* werden Streckentrennungen durch Streckenausschalter, Fig. 50, vorgesehen. Die Streckenausschalter befinden sich in Kästchen. Letztere sind am Rohrmast aufmontiert. Die Öffnung der Kästchen erfolgt durch die Steckschlüssel der Aufsichtsorgane (Bedienstete der Bahn, Sicherheitswachmänner, Feuerwehrmänner u. s. w.).

Der in Fig. 51 abgebildete Streckenausschalter gibt eine patentierte Konstruktion der Firma Siemens & Halske A.-G. wieder. Dieser Ausschalter ist unmittelbar auf den Streckenisolator montiert, so dass die sonst zwischen Streckenisolator und Ausschalter nöthigen Verbindungskabel entbehrlich werden. Das Öffnen des Ausschalters ist von


Fig. 49. Streckenisolator mit 2 Stück Zusatzdrähten.


Fig. 50.
Streckenausschalter in Kästchen.

beiden Seiten möglich und das Ausschalten kann erfolgen, ohne dass der den Ausschalter bedienende Mann aufwärts zu sehen braucht. Der Strekenausschalter (oberster Theil der Figur) besteht aus zwei um vertikale Achsen drehbaren Hebeln, welche an einem Ende federnde Kontaktflächen und am anderen Ende gabelförmig gestaltete Verlängerungen aufweisen. Das Ausschalten erfolgt nun in der Weise, dass man eine beliebige, etwa 5 *m* lange Stange am Arbeitsdraht entlang führt und mit derselben gegen den Ausschalter schlägt. Diese Stange gleitet am doppelkeilförmig ausgebildeten und fest angebrachten Abweiser ab und trifft eine Zinke der gabelförmigen Verlängerung; dadurch wird der Hebel gedreht und es erfolgt eine Unterbrechung des Kontaktes (oberster Punkt der Figur).

Die Firma Siemens & Halske A.-G. verwendet dreierlei Blitzschutzvorrichtungen, und zwar:

1. Die Blitzschutzvorrichtung mit magnetischer Funkenlöschung und doppelter Isolation, sammt Schutzkappe und Tragbolzen, Fig. 52.

2. Den Streckenhörnerblitzableiter, Fig. 53. Das linke Horn wird von einer eisernen Kappe getragen, an welcher es mittelst eines Klemmstückes und einer Mutterschraube befestigt ist. Die Kappe erscheint auf einem Isolator aus Porzellan, Hartgummi u. s. w. aufgekittet, welcher auf einer eisernen Stütze sitzt. Unter dem sechskantigen Bund dieser Stütze ist ein schmiedeeiserner Bügel angeschraubt, welcher mittelst eines Klemmstückes und einer Mutterschraube das rechte Horn trägt. Die gegenseitige Entfernung der Drahtbögen (Hörner) kann durch Verschieben an den Klemmstücken eingestellt werden. Der Blitzableiter wird mittelst des unteren Gewindetheiles seiner Stütze auf einen eisernen Mastkopf aufgeschraubt, beziehungsweise bei Anbringung mehrerer Blitzableiter an einem Träger eines Mastes befestigt, derart, dass das rechte Horn des Blitzableiters durch den schmiedeeisernen Bügel und den Mast unmittelbar an Erde liegt. Das linke Horn wird mit der zu schützenden Leitung mittelst einer Schraube an einem Lappen der Kappe verbunden. Die Verbindungsleitung kann frei gespannt oder als isolierte Leitung, welche an dem Querdraht befestigt ist, ausgeführt werden. Auch der Querdraht kann als Anschlussleitung dienen, wenn derselbe am Maste eine doppelte Isolation besitzt. Werden die Fahrschienen als Erdplatten benutzt, so sind die Blitzableitermaste durch wenigstens 8 *mm* starke Kupferdrähte mit den Schienen zu verbinden.



Fig. 51. Streckenausschalter.

3. Der Wagenhörnerblitzableiter sieht den Streckenhörnerblitzableitern ähnlich. Derselbe besteht aus zwei Hörnern, welche mittelst Klemmstücken und Mutterschrauben an Isolatoren befestigt werden. Diese

bestehen aus einem mit Hartgummi umpressten Stahlbolzen, welcher mittelst eines Gussstückes auf einer parallel zur Querachse des Wagens auf dem Dache angebrachten Holzbohle aufgeschraubt ist. Der Kopf des Isolatorbolzens trägt ein zweitheiliges Gehäuse mit einem Klemmstück und einem Anschlusslappen, welcher zur Verbindung des Blitzableiters mit der Oberleitung, beziehungsweise Erde dient. In die Verbindung



Fig. 52. Blitzschutzvorrichtung.



Fig. 53. Hörnerblitzableiter.

der Oberleitung mit dem Wagenmotor ist eine blanke Drahtspirale eingeschaltet, welche vermöge ihrer Selbstinduktion den Eintritt des Blitzstrahles in den Motor erschweren soll. Die Einstellung der Hörner kann an den gusseisernen Klemmen erfolgen. Schlägt ein Blitz in die Oberleitung ein, so wird er durch die Verbindungsleitung zu dem linken Horne des Streckenblitzableiters, beziehungsweise durch den Stromabnehmer zum Wagenblitzableiter, gelangen, hier unter Bildung eines Lichtbogens den Luftzwischenraum zwischen beiden Hörnern überspringen und den Weg zur Erde nehmen. Durch den auftretenden

Lichtbogen erfolgt nun ein Kurzschluss zwischen dem Fahrdraht und den Schienen, welcher in den Hörnern eine elektrodynamische Wirkung hervorruft, so dass der Lichtbogen durch die Abstoßung der sich kreuzenden Ströme kräftig nach oben geblasen wird und mit immer zunehmender Verlängerung erlischt. Der Auftrieb der erwärmten Luft unterstützt hierbei die Wechselwirkung der Ströme. Das Ausblasen des Lichtbogens erfolgt mit einem lauten Knall in einem Bruchtheile einer Sekunde, so dass der Blitzableiter sofort wieder gebrauchsfähig erscheint. Die Entfernung der Hörner von einander ist für Straßenbahnanlagen mit 500 Volt Spannung auf 3 *mm* anzunehmen, kann jedoch auch ohne Nachtheil für den Blitzableiter verringert werden.



Fig. 54. Holzleiste sammt Stütze und eingeklemmtem Arbeitsdraht.



Fig. 55. Stütze aus Deltametall.

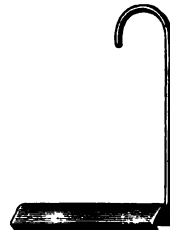


Fig. 56. Endhaken.

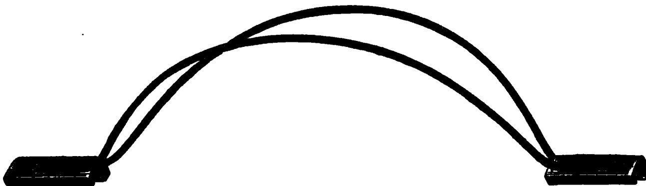


Fig. 57. Schutzbügel.

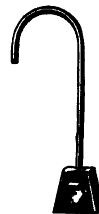


Fig. 58. Fanghaken.

In den Figuren 54 bis 58 sind die Bestandtheile für Telephonschutz ersichtlich. Zum Schutze der Telephonleitungen gegen Induktion werden die Leitungen zum Theil aus ihrer früheren Lage in eine geschütztere Lage gebracht. Um im Falle des Reißens von Telephon- oder Telegraphendrähten diese gegen Berührung mit den Arbeitsleitungen zu schützen, finden im Bereiche der Kreuzungsstellen Holzschutzleisten, Fig. 54, Verwendung. Diese Figur zeigt eine asphaltierte Holzleiste sammt Stütze und eingeklemmten Arbeitsdraht. Eine Stütze aus Deltametall gibt Fig. 55 wieder. Einen besonderen Schutz gewährt ein über dem Arbeitsdraht gespannter, geerdeter Eisendraht. Fällt ein Telephon-

draht auf diesen Schutzdraht, so hat er das Potential der Erde und die Berührung desselben ist ungefährlich. Verbindet der Telephondraht Schutz- und Arbeitsdraht miteinander, so schmilzt er ab und fällt stromlos zu Boden.

An den Enden der Holzleisten befinden sich Endhaken, Fig. 56. welche Telephondrähte vor der Berührung mit dem Arbeitsdrahte schützen. Denselben Zweck erfüllen bei Überbrückungen der Aufhängungen Schutzbügel, Fig. 57, zwischen den Enden zweier Holzleisten. Es sind im Gebrauch: Schutzbügel für Aufhängungen, Luftweichen und Streckenisolatoren, sämmtlich mit Gummiisolierung (Gummischlauch, 15 *mm* Durchmesser, 1·5 Wandstärke). Quer- und Spanndrähte, welche sich im Bereiche der Schwachstromleitungen befinden, werden mit sogenannten Fanghaken, Fig. 58, versehen, um auch



Fig. 59. Längsverbindung.

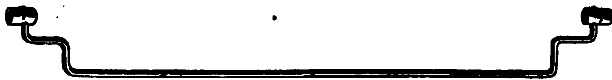


Fig. 60. Querverbindung.

diejenigen Leitungen zu schützen, welche die Arbeitsleitungen nicht kreuzen, jedoch beim Reißen möglicherweise mit den stromführenden Arbeitsleitungen in Berührung kommen könnten. Diese Sicherheitsvorrichtungen bieten zunächst mechanischen Schutz gegen Berührung. Schwachstromleitungen werden auch noch durch Abschmelzdrähte geschützt. Die Sicherungen sind nächst den mit denselben verbundenen Apparaten eingebaut.

Elektrische Schienenverbindungen für Rillen- und Vignolschienen stellen die Figuren 59 und 60 dar. Fig. 59 gibt eine Längsverbindung für Weichen und Kreuzungen wieder. Der Querschnitt des Kupferbügels beträgt 100 mm^2, die Entfernung der Schienenlochmitten 680 *mm*. Des Weiteren bestehen solche Verbindungen, Chicagorailbonds als Längsverbindungen, Querverbindungen für Normalspur (1·435 *m*), für 1 *m* Spur, für 0·76 *m* Spur und Geleisverbindungen für rund 3 *m* Abstand der Geleismitten. Verzinnter Stahldorn dient zu den Schienenverbindungen. Außer den Chicagorailbonds sind Nietstöpselverbindungen im Gebrauch. Eine solche Ver-

bindung zeigt Fig. 60. Diese Längsverbindung hat einen Kupferquerschnitt von 100 *mm*², die Entfernung der Schienenlochmitten beträgt 710 *mm*. Außer dieser Nietstöpselverbindung gibt es Querverbindungen für Normalspuren, Geleisverbindungen für rund 2·5 *m* Abstand der Geleismitten. Verzinnte Stahlstöpsel besorgen die Schienenverbindungen. Alle Verbindungen sind verzinnt.

Zur Vermeidung eines gefährlichen Anwachsens der Züge im Winter oder eines zu starken Durchhängens im Sommer werden manchmal noch sogenannte Nachspannvorrichtungen in die Arbeitsleitungen eingebaut. Diese Nachspannvorrichtungen sind nichts anderes, als dem besonderen Zwecke angepasste Schraubenschlösser. Zum Vereinigen gerissener Drähte dient eine eigene Stoßverbindung, die wegen ihrer Leichtigkeit, ohne weiters auch zwischen zwei Aufhängungen verwendet werden kann.

Verschiedene Geräthe und Werkzeuge für die Oberleitungsarbeiten:

1. Gerüstwagen mit feststehender Plattform, Schraubstock und Drahthaspel.

2. Gerüstwagen mit verstellbarer Plattform, Schraubstock und Drahthaspel.

3. Große Werkzeugkiste zum Gerüstwagen mit Werkzeug.

4. Kleine Werkzeugkiste zum Gerüstwagen mit Werkzeug.

5. Gerüstwagen zur Vornahme von Ausbesserungen während des Betriebes, mit 4 Werkzeugkisten mit Werkzeug, verstellbaren Leitern u. dgl.

6. Fahrbare Schubleiter mit selbstthätigen Einfallhaken, 9·5 *m*.

7. Doppelleiter, 5·5 *m*.

8. Anlegeleiter, 6 *m*.

9. Anlegeschubleiter, 9 *m*, mit selbstthätigem Einfallhaken.

10. Messständer aus Bambus.

11. Messlatte, 7 *m*, aus Bambus.

12. Messlatte, 5 *m*, aus Holz.

13. 1 Paar Bambusstangen, beschlagen und 2 Gewichte zu 17·5 *kg*.

14. Zweirädriger Handwagen.

15. Löthofen mit Fußplatte.

16. Trommel für den Arbeitsdraht.

17. Trommelwagen.

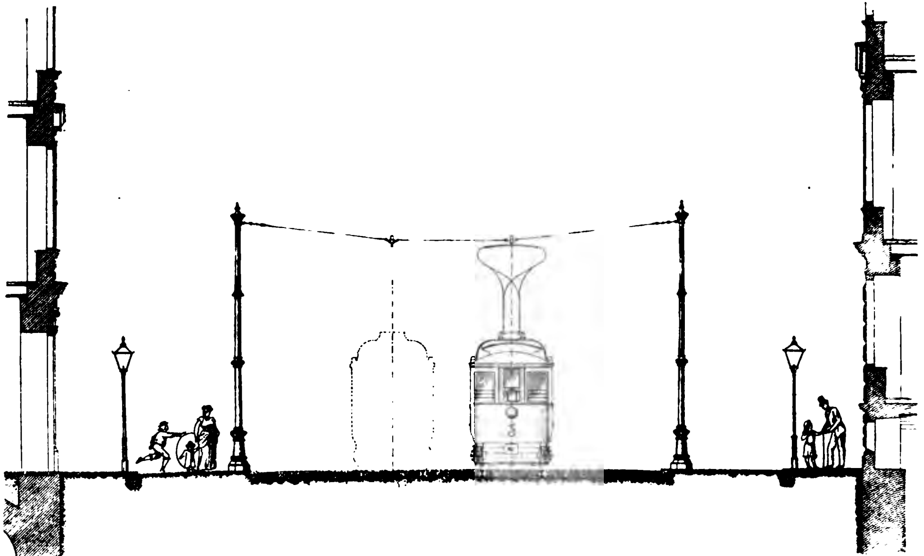


Fig. 61. Anordnung einer doppelgeleisigen Bahn.

18. Bügel- und Rollenkontakt.

Als im Jahre 1890 die elektrische Bahn Berlin-Lichterfelde erweitert wurde, erfand die Firma Siemens & Halske A.-G. einen neuen Stromabnehmer. Dieser Stromabnehmer bestand aus einem leichten Metallbügel, welcher auf einem Wagendache federnd angebracht wurde und an dem Arbeitsdraht entlang gleitete. Dieser Kontaktbügel und der Rollenkontakt sind die gebräuchlichsten Kontaktvorrichtungen. Fig. 61

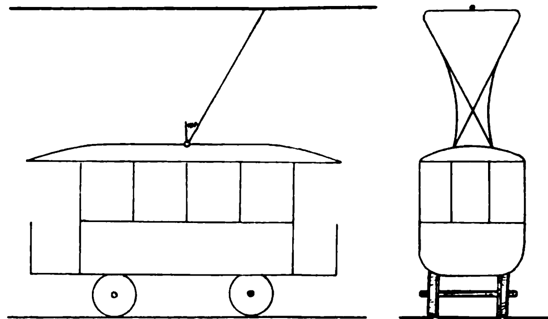


Fig. 62. Anwendung des Bügels.

gibt die Anordnung einer doppelgeleisigen Bahn mit Oberleitung und Bügel wieder. Zwischen zwei Masten ist der Arbeitsdraht mittelst Querdrähten befestigt. Über dem Wagendach erhebt sich der Bügel, welcher an dem Arbeitsdraht Kontakt gibt. Fig. 62 ver-

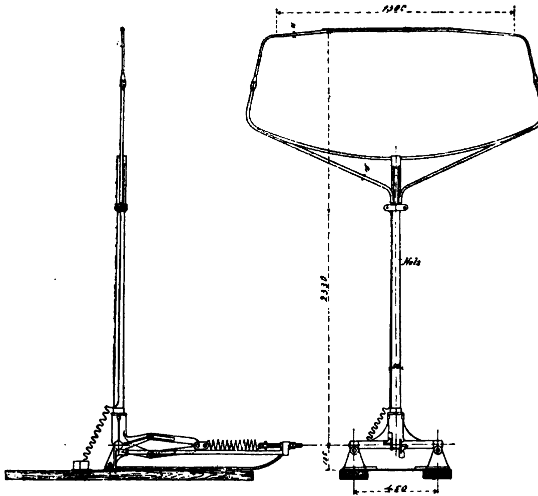


Fig. 63. Bügel mit fester Lagerung.

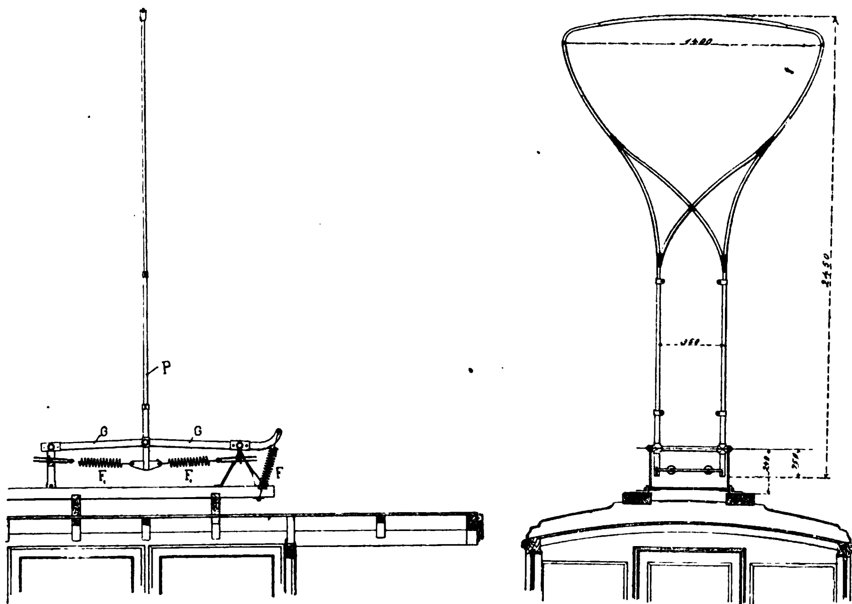


Fig. 64. Bügel mit federnder Lagerung.

anschaulicht eine schematische Skizze der Anwendung des Bügels. Einen Bügel mit fester Lagerung gibt Fig. 63 wieder. Horizontal liegende Spiralfedern drücken den Bügel gegen den Arbeitsdraht, gleichgiltig ob der Bügel nach vorwärts oder nach rückwärts geneigt ist. Wird der Arbeitsdraht an den Endstationen genügend hoch

über dem Geleise gespannt, so findet ein selbstthätiges Umlegen des Bügels statt. Derselbe wird aus Mannesmannröhren, das eigentliche Gleitstück jedoch aus Weichmessing-Stangen oder sonstigem weichen Material hergestellt. Um den Bügel möglichst leicht zu machen, verwendet man Aluminium. Später wurde der Bügel federnd gelagert um das Umkehren der Fahrtrichtung sicherer zu gestalten (D. R.-P. 79277, 24. Dec. 1893).

Fig. 64. (Zusatzpatent zum D. R.-P. 79277) stellt eine veränderte Ausführung des Bügels dar. Der Bügel *B* wird von zwei von entgegengesetzter Seite an ihn angreifenden Hebeln *G G* getragen. Durch lothrechte Federn *F F* und wagrechte Federn F_1 F_1 entsteht ein elastisches Lager. Dieser Bügel ermöglicht das selbstthätige Umlegen besonders bequem, so dass eine Leine, wie sie beim Rollenkontakt Anwendung findet, vollkommen entbehrlich erscheint. Man glaubte früher, dass durch die gleitende Reibung des Bügels der Arbeitsdraht zu schnell verschleißt wird. Thatsächlich erfolgt jedoch die Abnützung jeder Kontaktvorrichtung weniger durch Reibung und elektrolytische Vorgänge, als durch Funkenbildung. Die Rolle muss deshalb mit 10—12 *kg*, der Bügel mit 3·5 *kg* Druck gegen den Trolleydraht gepresst werden. Das Abtreiben oder das Abschleifen des Arbeitsdrahtes kann beim Bügel dadurch sehr vermindert werden, dass man den eigentlichen Schleifbügel, wie bereits erwähnt, aus weichem Material herstellt und dadurch, dass man den Bügel oder die Leitung fleißig mittelst konsistentem Fett und dergleichen schmiert. Der Bügel eignet sich ganz besonders für krummlinige Strecken und für Bahnen mit größeren Steigungen. Ein Ausspringen des Bügels aus der Leitung kann bei richtiger Leitungsanlage überhaupt nicht vorkommen. Die Federn gestatten auch ein vollständiges Umlegen des Bügels, ohne dass eine Überbeanspruchung desselben eintritt. In diesem Falle wird der Bügel fast gänzlich unsichtbar.

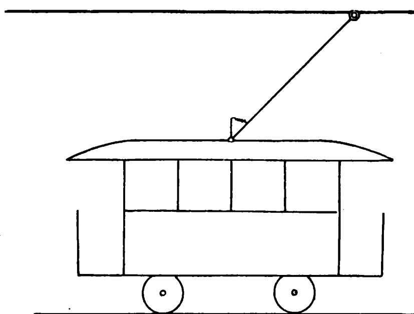


Fig. 65. Rollenkontakt.

Wir wollen nun die Vor- und Nachtheile des Bügel- und Rollenkontaktes weiter erörtern. Der Kontaktdraht ist für gewöhnlich über der Geleisemitte montiert und die stromabnehmenden Theile haben die Aufgabe, während der Fahrt mit dem Kontaktdraht beständig in leitender Berührung zu bleiben. Verwenden wir als stromabnehmenden Theil eine Kontaktrolle, Fig. 65, dann

muss der Kontaktdraht möglichst genau den Krümmungen des Geleises folgen, da die Kontaktrolle, vermöge ihres geringen Spieles nach den Seiten, sonst in Gefahr kommt, den Kontakt mit dem Fahrdraht vollständig zu verlieren.

Dieser Umstand erfordert nun ein sehr kompliciertes und, besonders in den Kurven, aus zahlreichen Spanndrähten bestehendes Drahtnetz. Aber selbst für den Fall, als der Leitungsdraht sich dem Schienenstrange vollständig anpasst, ist noch immer die Möglichkeit einer Kontaktunterbrechung zwischen Rolle und Fahrdraht vorhanden, indem nämlich leicht durch einen heftigen Stoß die Rolle den Fahrdraht verlässt. Nachdem sich die Rolle auf dem Fahrdraht abwälzt, findet der Stromübergang von Kontaktdraht zur Rolle immer an anderen Stellen der Rolle statt, so dass sich dadurch fortwährend kleine Funken bilden, die zerstörend auf die leitenden Stellen einwirken. Die Konstruktion des Stromabnehmers mit Kontaktrolle repräsentiert sich allerdings viel einfacher als die eines Stromabnahmebügels, allein dieser Vortheil wird durch die Nachtheile des Systemes reichlich aufgewogen. Bei modernen Straßenbahnen finden wir darum fast durchwegs den Stromabnahmebügel. Nachdem dieser Bügel eine ziemliche Breite hat, rund 1·2 *m*, braucht der Fahrdraht dem Geleise nicht genau zu folgen, sondern kann in Form eines Polygons mit großer Sehnenlänge montiert werden. Dadurch gestaltet sich natürlich das ganze System der Kurvenverspannung, besonders in den Weichen und Kreuzungen, viel einfacher als bei Verwendung eines Rollenkontaktes. Reichel hat eine Formel angegeben, die gestattet, bei Annahme einer Bügelbreite von mindestens 1·2 *m*, wobei der Fahrdraht von der Bügelmitte gegen jede Seite 0·5 *m* ausweichen darf, für verschiedene Krümmungsradien der Fahrstrecke die Länge der Sehne des montierten Fahrdrahtes zu bestimmen. In Fig. 66 bedeuten die zwei stark ausgezogenen Kreisbogen den Raum, innerhalb welchem ein Kontakt zwischen Bügel und Fahrdraht stattfinden muss, r den äußeren Krümmungsradius und S die Sehnenlänge. Die Formel lautet:

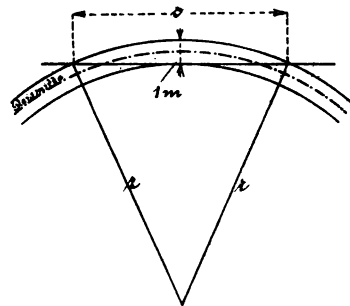


Fig. 66. Kurvenverspannung.

$$S = 2\sqrt{2r}.$$

Eine nach dieser Formel berechnete Tabelle, die für die verschiedenen Krümmungsradien die zulässige Sehnenlänge angibt, ist die folgende:

r in m	S in m
12	9·8
15	11·0
20	12·7
25	14·2
30	15·5
40	17·9
50	20·0
60	21·9
80	25·3
100	28·3
120	31·0
150	34·7
180	37·9
200	40·0

Nachdem nicht immer die gleiche Stelle des Bügels am Fahrdraht schleift, wird der Bügel ziemlich gleichförmig abgenützt. Die schleifenden Theile desselben sind aus weicherem Material hergestellt, so dass der Fahrdraht nicht stark angegriffen wird. Zu erwähnen wäre noch, dass bei Verbindung des positiven Poles mit den Schienen und dadurch mit dem Stromabnahmebügel, beim Übergang des Betriebsstromes vom Bügel zum Fahrdraht eine Elektrolyse stattfindet, welche Material vom Bügel zum Drahte trägt und diesen dadurch verstärkt, so dass die mechanische Abnützung beinahe völlig wett gemacht würde. Trotzdem verbindet man jedoch den negativen Pol mit den Schienen. Der Bügel lässt sich natürlich leichter auswechseln, speciell seine kontaktherstellenden Theile, als der Fahrdraht. Oft werden die Bügelreibungsflächen mit Schmiernuten versehen und mit einem weichen Metall überzogen, so dass während der Fahrt das weiche Bügelmetall sich am Fahrdraht festsetzt und auf diese Weise die mechanische Abnutzung des Fahrdrahtes fast völlig wieder gutmacht. Allerdings wird es durch diese Vorkehrungen nicht ermöglicht, dass der Fahrdraht eine unbegrenzte Zeit in Verwendung stehen kann, vielmehr muss er, wenn er aus Kupfer besteht, alle 10 bis 15 Jahre ausgewechselt werden, weil seine mechanische Festigkeit infolge des Stromdurchganges allmählich abnimmt.

19. Systeme der Bahnen. Die elektrischen Bahnen können entweder von einer Centrale aus betrieben werden, also mittelst einer festen Elektricitätsquelle (Dynamo) oder mittelst eine Elektricitätsquelle

(Sammler), welche sich auf dem Wagen selbst befindet. Bisher stehen zumeist elektrische Bahnen mit fester Elektricitätsquelle im Betrieb.

I. Bahnen mit fester Elektricitätsquelle.

Bei diesem System kann der Strom dem im Wagen befindlichen Elektromotor entweder durch die Schienen oder oberirdisch oder unterirdisch zugeführt werden.

1. Zuführung durch die Schienen oder durch eine besondere Mittelschiene. Bei den zuerst gebauten elektrischen Bahnen wurden die beiden Schienen gleichzeitig als Zuleitungen des Stromes zu dem Elektromoter benützt. Die auf der Achse rotierenden Räder waren von einander isoliert und dienten zur Abnahme des Stromes von den Schienen oder es fanden gesonderte, auf den Schienen schleifende Bürsten Verwendung. Die Schienen mussten an den Stellen des Zusammenstoßes durch eigene Kupferbügel kontaktsicher verbunden werden, weil sonst der Widerstand der Schienenleitung einen zu hohen Wert annahm. Die wichtigsten Mängel dieses Systemes waren:

a) Gefahr für Menschen und Thiere. Dieser Mangel erscheint bei Anwendung von Gleichstrom unter 500 Volt bei allen elektrischen Eisenbahnsystemen vermieden.

b) Schlussbildung durch Feuchtigkeit und infolge des Lastenverkehres zwischen den Schienen. Zur theilweisen Behebung des durch Feuchtigkeit entstehenden Schlusses fanden eine isolierte Mittelschiene zur Stromzuführung und die beiden Fahrschienen zur Stromableitung Verwendung. Dort, wo nicht besondere Bahnkörper zur Verfügung standen, umgieng man Unfälle an Kreuzungsstellen der Schienen mit Wägen und Straßen dadurch, dass diese Stellen stromlos oder isoliert waren, und erst von dem darüber fahrenden Wagen in dem Stromkreis eingeschaltet wurden.

c) Der Straßenschmutz verhinderte die Herstellung eines gutleitenden Kontaktes zwischen den Schienen und den Stromabnehmern.

Nach dem System der Stromzuführung durch die Schienen gelangten zunächst zur Ausführung:

Die elektrische Bahn in der Gewerbe- und Industrie-Ausstellung in Berlin 1879 von der Firma Siemens & Halske A.-G. Die Zuleitung des Stromes erfolgte durch eine Mittelschiene, die Ableitung durch die Fahrschiene. Der Zug bestand aus einer Lokomotive, auf welcher sich der Elektromotor (Modell *D*) befand und aus einem Anhängewagen für etwa 20 Personen. Die Welle des Motors war parallel zum Geleise angeordnet; die Übertragung fand, unter Anwendung einer doppelten Übersetzung, vermittelst Kegelrädern statt.

Die elektrische Bahn von B. Egger auf der Wiener Gewerbe-Ausstellung im Jahre 1880. Der Strom wurde dem Elektromotor vermittelst Schleifkontakten an beiden Schienen zu-, beziehungsweise abgeführt.

Die elektrische Bahn in Groß-Lichterfelde bei Berlin. Für das Geleise besteht ein eigener Bahnkörper. Die Schienen sind, ohne besondere Isolation auf Holzschwellen befestigt und an den Stößen durch Kupferseile mit einander verlöthet. Zum Schutze der Menschen und Thiere vor elektrischen Schlägen sind die Schienen an den Straßenübergängen aus dem Stromkreise ausgeschaltet und durch unterirdisch verlegte Kabel überbrückt. Auf den Schienen schleifen Bürsten. Die Betriebsspannung beträgt 100 Volt. Die Bahn hat eine Länge von 4 *km* und ist eingeleisig. Die Betriebskosten stellen sich auf 24 Pfennige für 1 Wagenkilometer. Auf 2·4 *km* der Strecke findet Schienenleitung, auf 1·6 *km* derselben oberirdische Leitung Verwendung. Die größte Steigung beträgt 1 : 100 auf 0·4 *km*. Der kleinste Krümmungsradius misst 30 *m*.

Die elektrische Praterbahn in Wien auf der internationalen elektrischen Ausstellung im Jahre 1883 ebenfalls von Siemens & Halske A.-G.

Die elektrische Bahn am Strand von Brighton, erbaut von Magnus Volk.

2. Oberirdische Stromleitung. Das System der oberirdischen Stromleitung findet überall dort Verwendung, wo die Aufstellung von Leitungsstangen gestattet ist. Dieses System stellt sich elektrisch und wirtschaftlich am günstigsten. Die Zu- und Rückleitung des Stromes erfolgt entweder einerseits durch die Schienen, andererseits durch eine Luftleitung, Fig. 67 und 68, oder durch zwei Luftleitungen. Die Luftleitungen können an Leitungsstangen, welche neben dem Geleise, Fig. 67 und 68, oder auf Seilen, die zwischen, zu beiden Seiten des Geleises stehenden, Leitungsstangen getragen werden, führen. In letzterem Falle sind die Leitungen an Seilen in der Mitte des Geleises isoliert befestigt und bestehen entweder aus blanken Kupferdrähten oder aus blanken Kupferdrahtseilen. Das System der oberirdischen Stromzuleitung wurde zuerst von der Firma Siemens & Halske A.-G. auf der Pariser Internationalen Ausstellung im Jahre 1881 vorgeführt.

Die Fig. 67 bis 70 geben die wichtigsten Einrichtungsstücke einer elektrischen Eisenbahn und deren Anordnung wieder. Die Stromzuleitung erfolgt durch einen, an Konsolen befestigten Kupferdraht. Die Konsolen werden von Leitungsstangen getragen. Zur Rückleitung des Stromes dienen die Schienen, von welchen aus der Strom mittelst be-

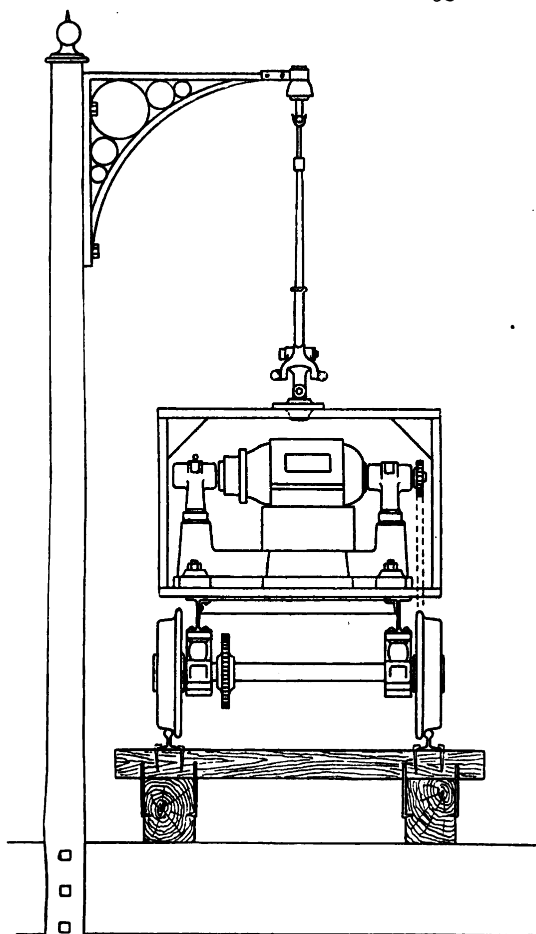


Fig. 67. Lokomotive für eine Kleinbahn.

sonderer Schleifkontakte in den Elektromotor tritt. Die Dynamo treibt, Fig. 67 und 68, ein Vorgelege an, von welchem zu jeder Wagenachse eine Übersetzung führt. Die Fig. 67 und 68 stellen den Quer- und Längsschnitt durch eine kleine elektrische Lokomotive dar. Auf dem Wagen befinden sich zwei Sitze zur Hin-, beziehungsweise Rückfahrt des Wagenführers. Neben jedem Sitze dient eine Kurbel zur Regulierung des Widerstandes, eine zweite zum Bremsen. Die letztere Kurbel trägt eine Glocke, welche durch das Heben des Griffes derselben bethätigt wird. In der Fig. 68 erscheint auf der linken Seite nur die Kurbel zur Widerstandsregulierung, auf der rechten Seite nur die Kurbel zum Bremsen veranschaulicht. Auf dem Wagendache ist ein Laufkontakt, System Sidney H. Short, Fig. 69, aufmontiert, welcher durch zwei kräftige Federn gegen die Leitung gedrückt wird. Die vordere Feder kann man aus derselben Figur ersehen. Der Laufkontakt besteht aus einem Schuh, Fig. 70, der auf der unteren Fläche der Leitung schleift. Der Schuh schleift mit der inneren Bodenfläche auf der Leitung. Zur Vermeidung von zu starker Abnützung der Leitung ist der Schuh, an der Berührungsfläche mit derselben, mit einem weichen Metall ausgegossen; das letztere nützt sich wohl rasch ab, kann jedoch leicht ersetzt werden. Zur Befestigung der Stange, welche den Schuh trägt, an der Grundplatte, dient ein Universalgelenk, welches seitliche Ausweichungen der Leitung bis auf 1 *m* zulässt.

Nach dem System der oberirdischen Zuleitung befanden sich zuerst im Betrieb:

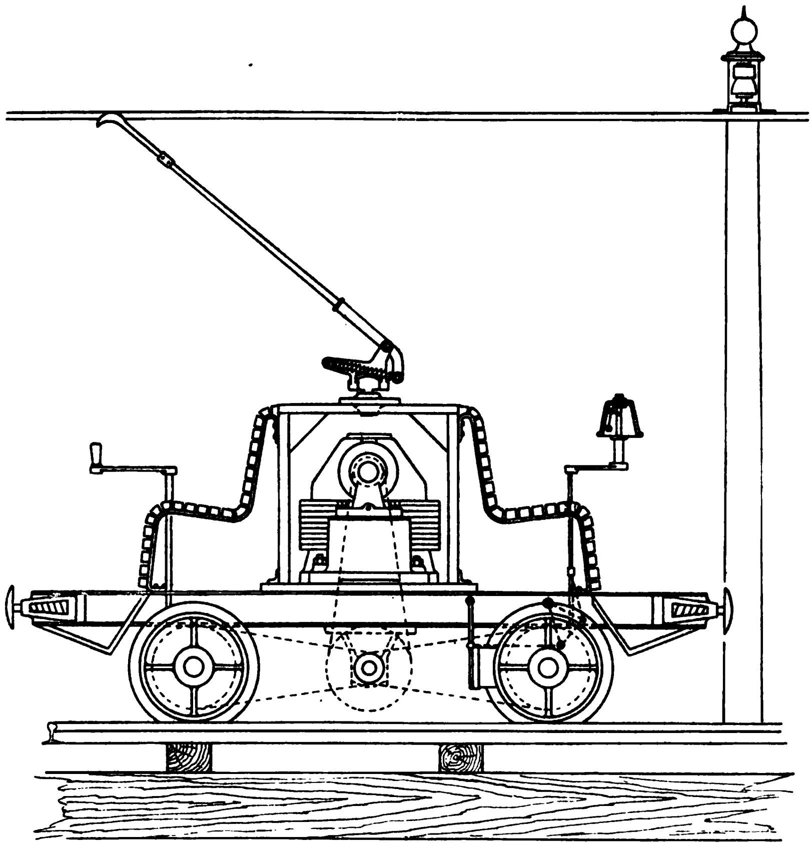


Fig. 68. Locomotive für eine Kleinbahn.

Die elektrische Bahn in Mödling bei Wien, gebaut von der Firma Siemens & Halske A.-G. im Jahre 1883.

Die elektrische Bahn Frankfurt-Offenbach zu Beginn des Jahres 1884 von der Firma Siemens & Halske A.-G. fertiggestellt. Auf einer Seite des Geleises sind Säulen aufgestellt, auf welchen besondere Leitungen, durch Kabel aus Stahl- und Kupferdrähten, getragen werden. Die Leitungen bestehen aus geschlitzten Eisenröhren. Zur Befestigung der Kabel, welche besonders den Durchhang der Leitung in der Mitte zwischen je zwei Säulen verhindern, an den Leitungsstangen dienen Isolatoren. Innerhalb der eisernen Röhren gleiten 4 kupferne Reiber von elliptischer Form, welche durch ein biegsames Seil miteinander verbunden sind. Die Reiber sind aus 2 Theilen zusammengesetzt, welche durch eine Spirale gegen die Innenwand der Röhren gedrückt werden. Von dieser Kontaktvorrichtung führt aus jeder Rohrleitung ein Kabel

den Strom in den Elektromotor. Die Bahn ist eingeleisig und besitzt Ausweichstationen mit besonderer Einrichtung. Die Weichen sind selbstthätig. Das Kontaktschiffchen lauft mit dem Wagen in die, dem betreffenden Geleise entsprechende Rohrleitung ein. Die Strecke hat eine Länge von 6·7 *km*. Im Betriebe befinden sich 14 Wagen, von welchen 10 ihre eigenen Motoren besitzen. Zwei Dampfmaschinen zu je 120 *HP* treiben 4 Dynamo zu je 300 Volt bei 70 Ampère an. Das mechanische Güteverhältnis schwankt, je nach den Steigungen, zwischen 50 und 80%. Die Dynamo sind nebeneinander geschaltet. Zum Antriebe von 4 Wagen genügen 2 Dynamo. Das Gewicht der Wagen beträgt etwa 4000 *kg*; sie nehmen beiläufig je 22 Personen auf. Die Bahn fährt



Fig. 69. Schuhkontakt.



Fig. 70. Schuh.

mit einer Geschwindigkeit von 12 *km* in 1 Stunde. Die Betriebskosten stellen sich für ein Wagenkilometer auf 19·5 Pf., die größte Steigung beträgt 1 : 30, der kleinste Krümmungsradius 30 *m*.

Auf der verlängerten Strecke der Lichterfelder Bahn, von der Kadettenschule bis zur Potsdamer Bahn, hat die Firma Siemens & Halske A.-G. eine neue Kontaktvorrichtung, einen sogenannten Kontaktbügel zuerst in Anwendung gebracht. Bei diesem System ist die Zahl der Aufhänge- und Abspannpunkte wesentlich kleiner als beim amerikanischen Rollensystem. Über dem Dache des Wagens führt ein Stromabnehmer zu dem eben genannten Kontaktbügel, Fig. 71. Die Einrichtung der Wagen ermöglicht ohne Weiteres ein Übergehen derselben von der alten Strecke mit Schienenleitung auf die neue mit oberirdischer Leitung.

Diese Kontaktvorrichtung besitzen die folgenden Bahnen derselben Firma: Groß-Lichterfelde, Budapest, Hannover, Dresden, Lemberg, Mühlhausen i. E., Barmen (Stadt- und Bergbahn), Bochum, Berlin,

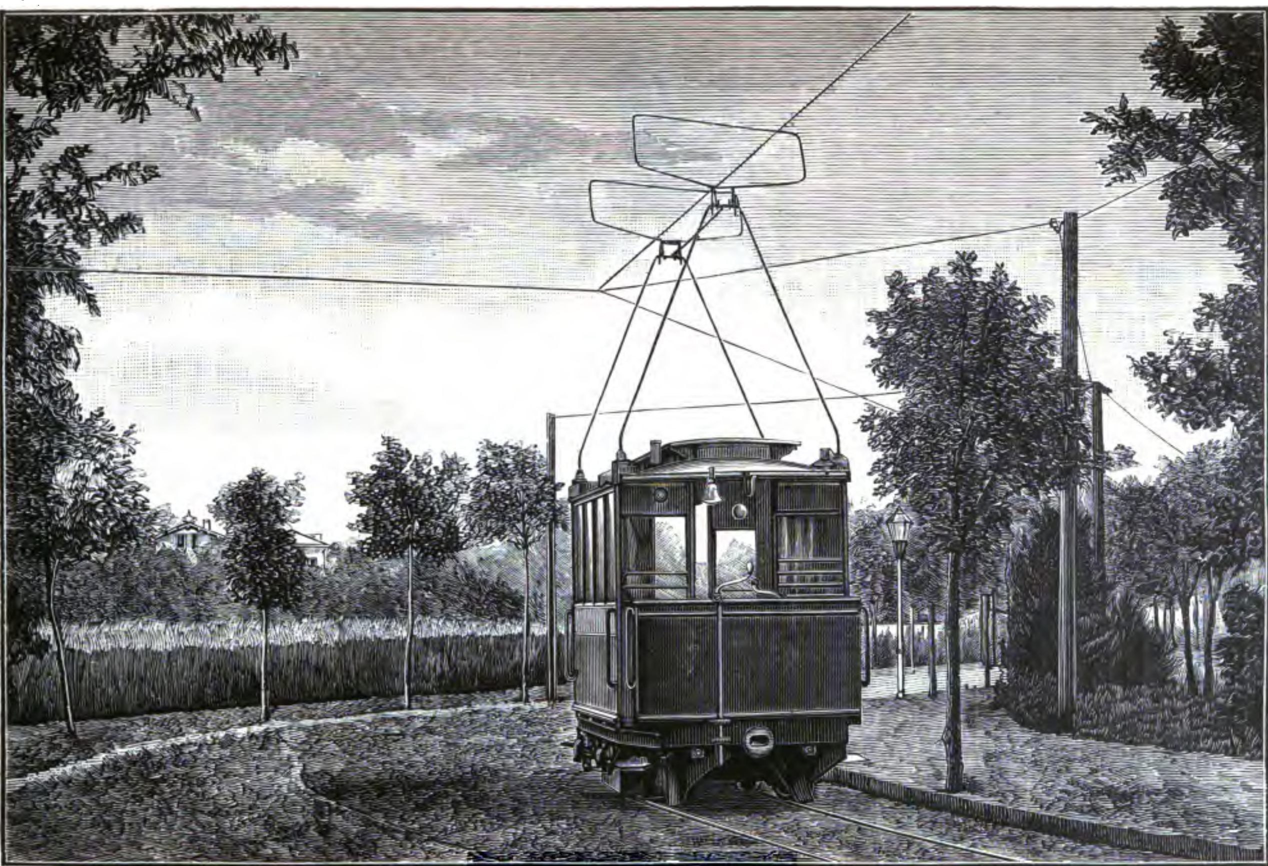


Fig. 71. Oberleitung mit Bügeln.

Bukarest, Sarajewo, Basel, Oberhausen (Rhld.), Bahia, Darmstadt, Turin, Wien, Hagen i. W., Waldenburg, Düsseldorf, Olmütz, Frankfurt a/M, Weimar, Graz, Cassel, Peking, Harlem, Bonn, Beul, Moskau, Teplitz, Gloggnitz, Bozen, Meran, Kopenhagen u. s. w.

Am 21. Mai 1894 ist von derselben Firma eine elektrische Stadtbahn in Lemberg nach demselben System dem Betriebe übergeben worden. Den folgenden Bericht über diese Bahn entnehme ich dem elektrotechnischen Anzeiger in Berlin. Das die Stadt durchziehende Netz elektrischer Bahnen besteht aus folgenden Strecken: Einer etwa 6 *km* langen Durchmesserlinie von dem im Westen der Stadt gelegenen Staatsbahnhof nach der östlichen Vorstadt Lyczakower, einer vom Mittelpunkte der Stadt aus abzweigenden Radialstrecke, nach dem Kilinski-Park, ferner einer kurzen Zweigstrecke nach dem großen Friedhof und einem Verbindungsgeleise zum Betriebsbahnhof und zur elektrischen Centralstation. Die gesammte Geleiselänge beträgt 16 *km*, die gesammte Bahnlänge 8·5 *km*, von denen 1895 bereits 6 *km* im Betrieb standen. Die Steigungsverhältnisse der Bahn sind sehr ungünstige; Steigungen zwischen 40‰ und 50‰ kommen wiederholt vor, und die größte, mehrere 100 *m* lange Steigung beträgt sogar 67·5‰. Auch die Kurvenverhältnisse sind schwierige; ein Minimalradius von 15 *m* kommt wiederholt vor. Der Oberbau der Bahn besteht aus Rillenschienen von der Type Phönix; der laufende *m* wiegt 32·5 *kg*. Die mit eisernen Spurstangen verbundenen, 140 *mm* hohen Schienen sind direkt auf einem Schotterbett gelagert. Der elektrische Strom wird oberirdisch zugeführt. Die aus Hartkupfer bestehenden Arbeitsdrähte sind mitten über den Geleisen ausgespannt. Die Querdrähte sind, je nach dem Charakter der betreffenden Straße, an architektonisch ausgebildeten, eisernen Säulen, an einfachen hölzernen Masten oder an Mauerfalten befestigt. Der elektrische Strom, dessen primäre Spannung 500 Volt beträgt, wird, sowie es Fig. 71 zeigt, mittelst Kontaktbügel, die auf den Dächern der Motorwagen federnd befestigt sind, abgenommen und zum Motor geleitet. Die Rückleitung des Stromes erfolgt durch die Schienen, welche zu diesem Zwecke an den Stößen kupferne Verbindungen haben. Für die Bahn sind vorläufig 16 Motorwagen bestimmt, wovon zunächst die Hälfte im Betrieb stehen. Die Wagen sind zweiklassig die Motoren 25pferdig. Die Übertragung auf die Achsen erfolgt mittelst Ketten. In der elektrischen Centralstation sind zunächst 2 Röhrendampfkessel von je 220 m^2 Heizfläche und 2 liegende Kompound-Dampfmaschinen mit Kondensation aufgestellt. Jede Dampfmaschine leistet 200 effektive *PS* und treibt eine mit ihr direkt gekuppelte Innenpolmaschine des bekannten Systemes der Firma Siemens & Halske A.-G. an.

Die elektrische Bahn der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft vormals B. Egger & Co. in Gmunden. Die im Juli 1894 fertiggestellte Bahn hat eine Länge von 2·6 *km*, die größte Steigung beträgt 95‰, der kleinste Krümmungsradius 40 *m*, die maximale Fahrgeschwindigkeit in der Ebene 25 *km*, auf der maximalen Steigung 8 *km* in der Stunde. Die erste Einrichtung besteht aus 3 Motorwagen für je 36 Personen. Jeder Wagen besitzt 2 Serienmotoren zu je 20 *PS*; jeden Wagen treibt eine Wagenachse mittelst doppelter Zahnradübersetzung an. Beim Anfahren werden beide Motoren hintereinander, bei schneller Fahrt parallel geschaltet. Das Gewicht eines belasteten Wagens stellt sich auf etwa 8000 *kg*. Die Stromzuleitung erfolgt durch eine oberirdische Leitung, oberhalb der Mitte der Geleise, welche auf Konsolen an Hartgummiisolatoren von 35 zu 35 *m* befestigt ist, die von Masten getragen werden. Die Arbeitsleitung besteht aus Hartkupferdraht von 8·25 *mm* Durchmesser, 40 *kg* Bruchfestigkeit und 0·018 specifischer Leitungsfähigkeit. Von der Wagendecke aus schleift eine Kontaktleitung, vermittelst einer Rolle, auf der Stromzuleitung. Die Rückleitung des Stromes erfolgt durch die Schienen, welche an den Stößen durch verzinkte Kupferdrähte leitend verbunden sind. Die Kontaktleitung ist, der Sicherheit des Betriebes halber, in 2 Abtheilungen getheilt; jede Abtheilung enthält einen automatischen Strom- und Widerstandsregulator, Patent Ernst Egger und Ferdinand A. Wessel, in unmittelbarer Nähe der Primärmaschine. Der Automat, ein elektrischer Regulierapparat, ist im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, indem er sich vermöge seiner Konstruktion derart einstellt, dass seinen, als Regulator wirkenden Theil, während dessen Thätigkeit in der Gleichgewichtslage, immer eine konstante Stromstärke durchfließt, wobei er einen jeweilig zweckentsprechenden Widerstand zu einem bestimmten, gegebenen Zwecke in die Leitung einschaltet. Der Regulator stellt im Stromkreise sowohl eine konstante Stromstärke als auch eine konstante Spannung ein. Ändern sich die Stromstärke und die Spannung, dann ändert sich auch die den Regulierapparat durchfließende Stromstärke, stört den Gleichgewichtszustand desselben und damit seine Ruhelage. Die so resultierende Bewegung bewirkt die Änderung von eingeschalteten Widerständen solange, bis einerseits der Regulierapparat wieder von der eingestellten konstanten Stromstärke durchflossen wird und sich andererseits infolge dessen im Stromkreise wieder die gewünschte Stromstärke, beziehungsweise Spannung eingestellt hat.

Zu dem Punkte höchster Steigung zweigt, hinter einem Automat, zur Erreichung eines besonderen Spannungsausgleiches, eine Speiseleitung ab.

Im Maschinenhause stehen 2 Dampfmaschinen, 2 Kessel und 2 Dynamo zu je maximal 50 *PS*. Die primären Maschinen sind übercompoundiert; sie geben bei Leerlauf 500 Volt, bei Belastung 550 Volt.

Blitzschutzvorrichtungen schützen die ganze Anlage gegen Blitzgefahr; dieselben befinden sich sowohl auf der ganzen Linie als auch in den einzelnen Motorwagen. Die Blitzschutzvorrichtung in dem Motorwagen ist einerseits an die Stromzuleitung, andererseits an das Maschinenuntergestell angeschlossen.



Fig. 72. Oberleitung mit Rollenkontakt.

Fig. 72 veranschaulicht das System der oberirdischen Stromzuführung mittelst Rollenkontakt nach Thomson-Houston. Zu beiden Seiten des Geleises stehen Maste, zwischen welchen Seile gespannt sind; letztere dienen zur Befestigung der Hin- und Rückleitung des Stromes. Von der Wagendecke aus führt eine Stange zu zwei Kontaktrollen, welche an der unteren Fläche der Leitung rollen. Jede Wagenachse wird durch einen besonderen Elektromotor, vermittelst doppelter Zahnradübersetzung, angetrieben. In jedem Wagen sind Blitzschutzvorrichtungen Patent Thomson-Houston vorhanden.

Fig. 73 gibt das Bild eines Kontaktwagens wieder. Vier Rollen ersetzen die 4 Räder eines Wagens. Die Rollen ruhen auf der Leitung. Die beiden Rollen auf der einen Längsseite des Wagens sind von den beiden Rollen auf der zweiten Längsseite des Wagens isoliert. Während der Strom von der einen der beiden Rollen dem Elektromotor zugeleitet wird, tritt derselbe von den beiden anderen in die Leitung zurück.

3. Unterirdische Stromzuführung. Das System der unterirdischen Stromzuführung muss überall dort Verwendung finden, wo oberirdische Leitungen untersagt sind. Bei diesem Systeme wird der Strom dem Elektromotor durch unterirdische Kanäle zugeführt. Innerhalb

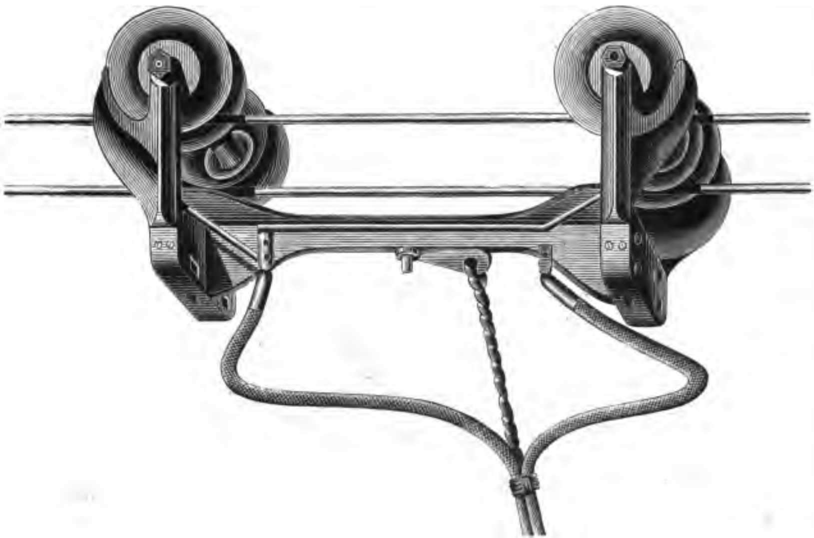


Fig. 73. Kontaktwagen.

der, unterhalb der Schienen ausgeführten, Kanäle sind die Leitungen isoliert aufmontiert, von welchen die Zuleitung des Stromes zu dem Elektromotor durch Kontaktvorrichtungen erfolgt. Die unterirdische Stromzuführung besitzt den Vortheil, dass alle Leitungsstangen wegfallen, dagegen den Nachtheil höherer Anlagekosten. Nach diesem System wurden ausgeführt:

Die Versuchsstation von Bentley & Knight in Cleveland. Die unterirdische Zuleitung führte durch einen Holzkanal, welcher sich zwischen den Schienen befand.

Die elektrische Eisenbahn in Blackpool. Die Zuleitung des Stromes erscheint in einem Kanale auf Isolatoren befestigt. Die Rückleitung erfolgt durch die Schienen.

Fig. 74 zeigt eine unterirdische Stromzuführung mittelst Kontaktwagen; von dem letzteren, welcher auf den Stromschienen rollt, tritt der Strom, unter Vermittelung eines Schleifkontaktes, in den Elektromotor des darüber befindlichen Wagens ein.

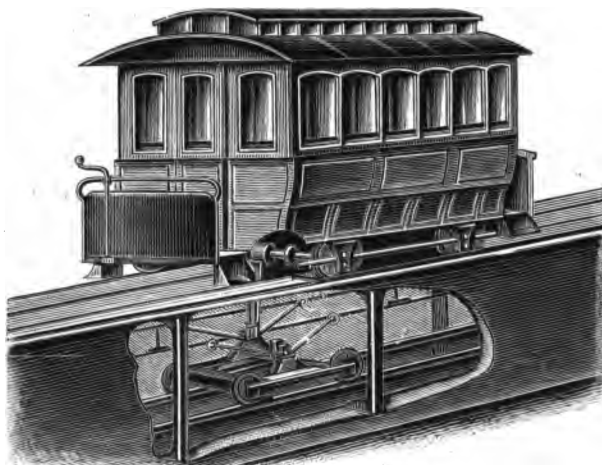


Fig. 74. Unterleitung mit Wagenkontakt.

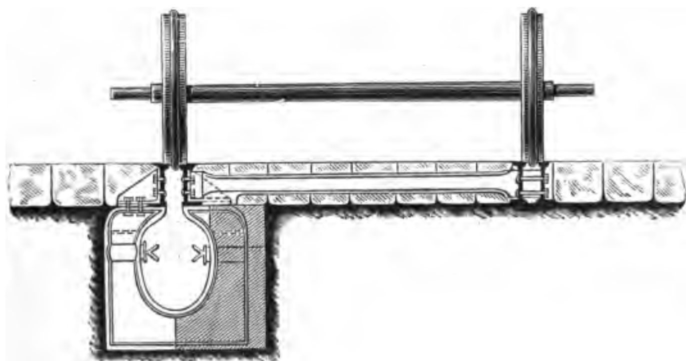


Fig. 75. Unterleitung (Winkeleisen).

Als Muster einer Bahn mit unterirdischer Stromzuführung kann die, von der Firma Siemens & Halske A.-G. ausgeführte, Budapester elektrische Stadtbahn [1]) betrachtet werden, die seit dem Jahre 1889 im Betrieb steht. Die Straßenoberfläche unterscheidet sich fast in Nichts

[1]) Vergl. Ludwig Spängler, Die Anlagen der Budapester Straßenbahngesellschaft, Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins 1898, Nr. 20.

von der einer gewöhnlichen Straßenbahn. Wie bei einer solchen sind für jedes Geleise zwei Schienen im Straßenpflaster vorhanden.

Die Zuführung des elektrischen Stromes erfolgt in einem unterirdischen Kanal, welcher sich unter einer Fahrschiene des Geleises erstreckt. Aus Fig. 75 ist der Querschnitt des Unter- und Oberbaues zu ersehen. Vom Kanal gelangt der Strom durch ein am Wagen befestigtes Kontaktschiff zur Dynamomaschine des Wagens.

Der Kanal für die Zuführung des elektrischen Stromes hat ein eiförmiges Profil von 28 *cm* lichter Weite und von 23 *cm* lichter Höhe. Er ist in seinem Scheitel, entsprechend der Rille und der darüber liegenden Fahrschiene, aufgeschlitzt, so dass also die Rille der Schiene in ihrer ganzen Länge mit dem Kanal unter der Schiene in Verbindung steht. Dieser Schlitz hat in Budapest normal 33 *mm* Breite, könnte aber auch noch wesentlich schmäler gehalten werden. Die Konstruktion des Kanales ist in der Weise bewirkt, dass in Abständen von 1·20 *m* gusseiserne Rahmen von 18 *cm* Breite aufgestellt werden, welche dem Profil des Kanales entsprechend geformt sind. Diese eisernen Rahmen dienen zuerst als Rippen des Kanales, weiters zur Unterstützung und Befestigung der Fahrschienen und endlich zur Befestigung von Isolatoren für die Anbringung der elektrischen Leitungen in dem Kanale.

Der Kanal selbst, dessen Sohle sich in der gleichbleibenden Tiefe von 57 *cm* unter dem Pflaster beziehungsweise der Schienenoberkante hinzieht, ist zwischen dem eisernen Rahmen aus Stampfbeton ausgeführt, indem die Rahmen beim Bau als Schablonen und später gleichsam als Verstärkungsrippe dienen.

Die Fahrschienen, welche den Einzelschienen des bekannten Haarmann-Oberbaues einigermaßen entsprechen, sind auf den eisernen Rahmen, welche zu ihrer Unterstützung dienen, mittelst schmiedeisener Winkelachsen, verschraubt. Letztere verhindern, dass der zwischen den Schienen verbleibende, 35 *mm* breite, offene Schlitz durch auftretende, seitliche Stöße darüber fahrender Straßenlasten oder durch seitlichen Druck des Pflasters verengert wird.

Zwischen den Rahmen bilden die Fahrschienen gleichsam die Decke des Kanales. Das Widerstandsmoment der einzelnen Schiene muss deshalb so groß bemessen werden, dass diese in der Mitte zwischen zwei unterstützenden Rahmen die größte vorkommende Straßenlast noch zu tragen vermag.

In den Leitungsflächen der eisernen Rahmen sind — dem Kanal zugekehrt — hülsenförmige Porzellan-Isolatoren eingegossen, welche in dem Kanal die elektrischen Leitungen tragen. Zur Isolierung der Leitung wird ein Gemisch von Schwefel und Caput mortuum benützt.

Die Leitungen bestehen aus Winkeleisen. Es sind den beiden Kanalwänden entsprechend zwei Leitungen angeordnet, von denen die eine zur Hinleitung des elektrischen Stromes, die andere zur Rückleitung desselben dient.

Die Leitungen liegen vollkommen geschützt unter den Fahrschienen, so dass sie von oben durch den Schlitz weder gesehen, noch berührt werden können; sie liegen weiters entsprechend hoch über der Sohle des Kanales, damit das in dem Kanal sich etwa ansammelnde Tagewasser unter denselben abfließen kann, ohne mit ihnen in Berührung zu kommen. Um den Abzug des, in dem Kanal sich sammelnden Wassers zu ermöglichen, sind in entsprechenden Entfernungen neben

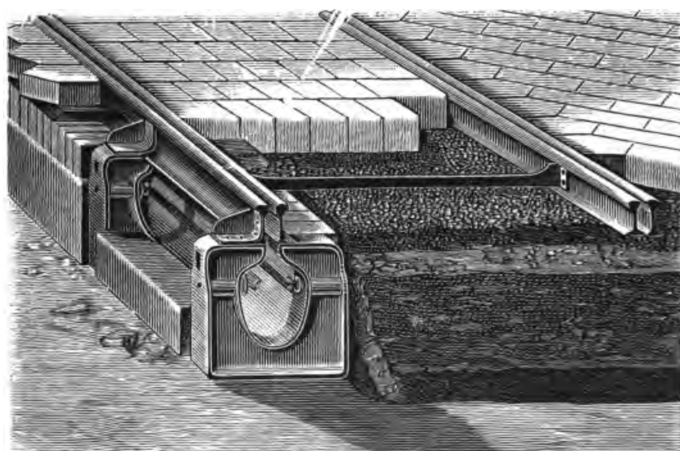


Fig. 76. Unterleitung (Winkeleisen).

dem Kanal Sammelschächte angeordnet, von welchen aus das zusammenfließende Wasser, nach Abscheidung des etwaigen Schlammes, in die Straßenkanäle abgeführt wird. In Fig. 76 ist das System der elektrischen Bahn mit unterirdischer Stromzuführung zur Anschauung gebracht.

Da die Fundamentsohle des beschriebenen Leitungskanales nur 72 *cm* unter der Schienen-, beziehungsweise der Pflasteroberkante liegt, so ist jede Beeinträchtigung der städtischen Kanäle und Rohrleitungen durch den Leitungskanal der Bahn ausgeschlossen.

Die zweite Schiene des Bahngeleises, unter welcher sich kein Leitungsdraht erstreckt, kann nach einem beliebigen Oberbau-System als Phönix-Schiene oder als einfache Vignolschiene ohne Rille, eventuell sogar nur als einfache Flachschiene ausgeführt werden.

Der elektrische Wagen unterscheidet sich äußerlich von einem gewöhnlichen Straßenbahnwagen fast gar nicht. Er hat selbstverständlich an den Enden keinerlei Zugsvorrichtung, wohl aber an jeder Kopfschwelle des Untergestelles je einen Puffer, welcher gleichzeitig mit einer Einrichtung zur Kuppelung mehrerer Wagen zu einem Zuge versehen ist.

Unter dem Wagen, zwischen beiden Wagenachsen, liegt die Wagenmaschine (sekundäre Dynamomaschine oder Elektromotor) in einem Schutzkasten eingeschlossen, Fig. 77. Der Elektromotor überträgt die

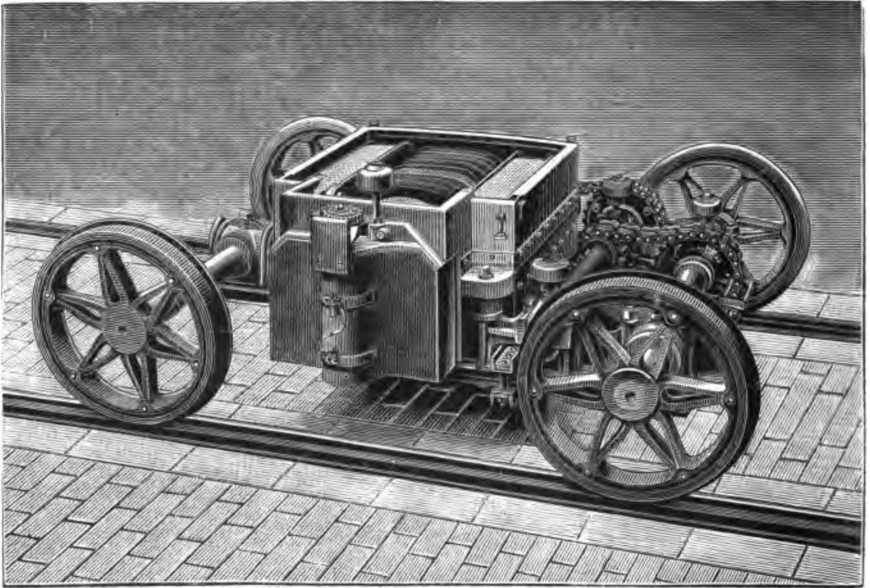


Fig. 77. Wagenuntergestell.

Umdrehung seines Ankers mittelst eines Vorgeleges auf die eine Wagenachse, welche dadurch zur Triebachse wird. Es laufen auch Wagen, bei welchen der Antrieb von der Maschinenachse direkt auf die Wagenachse erfolgt. Zur Übertragung von dem Elektromotor auf die Wagenachse werden Glieder-Ketten und Zahnräder verwendet. Unter den Plattformen des Wagens liegen die Widerstände, durch deren Ein- und Ausschaltung eine Veränderung in der Geschwindigkeit des Wagens ermöglicht wird, in 4 Gruppen vertheilt. Es ist gelungen, mit nur zwei Gruppen von Widerständen das Auslangen zu finden.

Das Ein- und Ausschalten der Widerstände erfolgt durch die, auf den Plattformen in einem Kasten aufgestellten Stromregler, welche

mittelst einer Schaltkurbel bethätigt werden können. Durch dieselbe Schaltkurbel besorgt der Wagenführer auch das Ein- und Ausschalten der Maschine, und zwar kann derselbe durch das Vor- und Rückwärtsdrehen der Kurbel die Umdrehung des Ankers der Maschine in der einen oder anderen Richtung und dementsprechend die Bewegung des Wagens in beiden Fahrrichtungen erfolgen lassen. Der Ein- und Ausschalter hat eine flache, dosenförmige Gestalt bekommen und wird durch einen Hebel, den der Wagenführer in der linken Hand hält, in ähnlicher Weise in Thätigkeit gesetzt wie der Reversierhebel einer Dampflokomotive.

Damit es nicht vorkommen kann, dass Personen unter die Wagen gerathen, sind dieselben an beiden Stirnseiten mit besonders konstruirten Schutzrechen versehen, welche um eine horizontale Achse drehbar derart angebracht sind, dass sie eben über das Pflaster und das Geleise ohne Berührung hinweggleiten. Wenn irgend ein Hindernis im Wege liegt, so werden diese Rechen, entgegen der Spannung, von kräftigen Spiralfedern niedergedrückt und legen sich nunmehr mit ihrem, aus Kautschuk hergestellten, elastischen Rande dicht an das Pflaster an, wobei sie das Hindernis erst vor sich hin und schließlich nach der Seite schieben. Diese Rechen haben sich bisher jedesmal, und zwar in zwei Fällen vollkommen bewährt, indem Personen, welche durch ihre eigene Unvorsichtigkeit zu Fall kamen, ohne irgend welche ernste Beschädigung, zur Seite geschoben wurden.

Der Betrieb der elektrischen Wagen erfolgt in der Weise, dass der, in einer für alle Linien gemeinsamen Centralstation erzeugte elektrische Strom, welcher 300 Volt Spannung hat, durch die im Kanal längs der Bahn befindlichen Leitungswinkeleisen fließt. Die Zu- beziehungsweise Rückleitung des elektrischen Stromes von diesen Leitungswinkeleisen zu beziehungsweise von der Wagenmaschine geschieht in der Weise, dass sich unter jedem Wagen, zwischen den beiden einander gegenüberstehenden Leitungswinkeleisen im Kanal, ein Kontaktschiff befindet, welches am Wagen befestigt ist und daher mit demselben fortgezogen wird. Die Pole dieses Kontaktschiffes sind entsprechend mit der Wagenmaschine leitend verbunden. Die Wagen werden direkt von den Leitungswinkeleisen aus elektrisch beleuchtet.

Der Wagenführer hat in der linken Hand den Hebel des Ein- und Ausschalters, in der rechten die Kurbel der Bremse und bethätigt mit dem Fuße die Alarmglocke.

Selbstverständlich können auf demselben Geleise mehrere Wagen unabhängig von einander gleichzeitig auch in verschiedenen Fahrrichtungen verkehren. Auf allen Strecken des ganzen Netzes sind gegenwärtig über 600 Motorwagen und über 100 Beiwagen gleichzeitig

im Betriebe. Wenn unterwegs ein Kontaktschiff Schaden leiden und den Dienst versagen sollte, so wird der Wagen an den nächstfolgenden gekuppelt, und auf dem Bahnhofe das schadhafte Kontaktschiff ausgewechselt.

Die schärfsten Kurven haben einen Radius von 45 *m*, ausnahmsweise sogar 22 *m*. Die größte bei der elektrischen Stadtbahn vorkommende Steigung, 19‰, ist zu gering, als dass die Leistungsfähigkeit der Wagen in dieser Hinsicht zur Geltung käme. Es wurde jedoch versuchsweise vor dem Heizhause auf dem Betriebsbahnhofe Steinbrucherstraße eine künstliche Rampe von 1 : 10 gebaut, um zu konstatieren, ob und mit welcher Geschwindigkeit man auf derselben noch fahren kann. Diese Versuche ergaben sowohl für das Fahren wie auch für das Anfahren der vollbeladenen Wagen vollkommen zufriedenstellende Resultate. Bemerkenswert ist hierbei, dass die Thalfahrt ohne Bremse erfolgt, u. zw. dadurch, dass man die Wagenmaschine ausschaltet und als Primärmaschine zur Bremsung des Wagens verwendet.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich die Baukosten der Bahn, je nach den Terrainverhältnissen, auf Mk. 50000 bis 70000 für 1 *km* stellten. [1])

Verhältnisse und Ergebnisse des Betriebes. Seit dem Juli 1889 konnte der Betrieb anstandslos geführt werden; selbst bei den mehrfachen starken Schneefällen der letzten Jahre, wo wiederholt alle anderen Verkehrsmittel versagten, hat die elektrische Eisenbahn unverdrossen ihren Dienst gethan.

Die Fahrgeschwindigkeit wurde von den Behörden wie folgt festgesetzt. Die Maximalgeschwindigkeit ist 15 *km* in einer Stunde. Dieselbe kann jedoch auf der äußeren Podmanizkygasse auf 18 *km* erhöht, muss aber in gewissen schmäleren Gassen, wo der Verkehr besonders lebhaft ist, auf 6 *km* in 1 Stunde ermäßigt werden.

Bei Berücksichtigung der Aufenthalte ergibt sich daher eine Bruttogeschwindigkeit von 12—13 *km* in 1 Stunde, also ungefähr die doppelte Geschwindigkeit der Wiener Pferdebahn, welche bekanntlich mit einer Bruttogeschwindigkeit von 6—7 *km* in 1 Stunde fährt. Diese relativ hohe Geschwindigkeit gestatteten die Behörden erst dann, nachdem über die Wirkung der Bremsen mit und ohne Zuhilfenahme des Rückstromes ausgedehnte Versuche, welche ausgezeichnete Resultate ergeben haben, angestellt wurden.

So kam z. B. ein durch Gewichte auf volle Last beschwerter

---

[1]) Genaue Angaben: Carl Hochenegg, Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines 1897, Nr. 33.

Wagen bei Glatteis und einer Geschwindigkeit von 22 *km* in 1 Stunde auf 8 *m* Entfernung zum Stillstande.

In Folge der größeren Fahrgeschwindigkeit gegenüber derjenigen bei Pferdebahnen ist die Ausnützung des Wagenparkes eine sehr günstige. Es leistet jeder Wagen täglich 120 bis 130, ja sogar bis 150 Wagenkilometer bei einem 16stündigen Tagesbetrieb.

Die Wagen fahren in Intervallen von etwa 2 Minuten, welche an verkehrsreichen Tagen auch noch verkürzt werden.

Die Frequenz der Bahn ist im fortwährenden Steigen begriffen.

Schon im Jahre 1891 beförderte die elektrische Stadtbahn 8,619.215 Personen, legte 1,489.410 Wagenkilometer zurück und nahm fl. 542.283·03 ein. Im Jahre 1892 wurden bereits 10,714.661 Personen befördert, 2,102.720 Wagenkilometer geleistet und eine Einnahme von 717.000 fl. erzielt. Es betrug demnach im Jahre 1892 die Zahl der beförderten Personen für 1 Wagenkilometer 5·10, die Einnahmen für 1 Wagenkilometer fl. 34·10 und die Einnahmen für 1 beförderte Person 6·69 kr.

Was die Leistungsfähigkeit der elektrischen Bahn betrifft, wenn es sich darum handelt, einen großen Verkehr zu bewältigen, so sei erwähnt, dass am Pfingstsonntage des Jahres 1893 über 68.000 Personen befördert worden sind.

Aus einer vergleichenden Zusammenstellung der Betriebsergebnisse der Budapester elektrischen Stadtbahn und der Budapester Pferdebahn für das Jahr 1891, welche in dem amtlichen Blatte „Vasuti és közlekedési közlöny“ enthalten war, geht hervor, dass die Einnahme bei der elektrischen Bahn für 1 beförderte Person 6·28 kr. und bei der Pferdebahn 8·50 kr. betrug. Die Tarife der elektrischen Bahn sind im Durchschnitte niedriger, als bei der Pferdebahn. Die Frequenz für 1 *km* Betriebslänge ist bei der elektrischen Bahn ungefähr doppelt so groß als bei der Pferdebahn, während die Einnahmen, wegen der niedrigen Tarife, nur etwa das 1·5fache der Einnahmen der Pferdebahn betragen.

Um auch bezüglich der Betriebskosten der elektrischen Bahn einen Vergleich anzustellen, sei erwähnt, dass dieselben ausschließlich Steuern und Fahrkartenstempel bei der elektrischen Bahn für 1 Wagenkilometer 14·28 kr. und bei der Wiener Pferdeeisenbahn 28·79 kr. betragen.

Auf Grund dieser Ergebnisse wird man wohl nicht bezweifeln können, dass die höheren Anlagekosten, welche elektrische Eisenbahnen den Pferdebahnen gegenüber erfordern, in großen Städten sehr bald durch die höheren Einnahmen und die geringeren Betriebskosten reichlich aufgehoben erscheinen.

Nebenbei sei hier erwähnt, dass in den genannten Betriebskosten der elektrischen Bahn mit 14·28 kr. für 1 Wagenkilometer die Kosten

des Brennmateriales zum Betrieb der Centralstation im Mittel 1·4 kr. betragen.

Man sieht daraus, dass sich die Betriebskosten nur ganz unwesentlich vermindern würden, wenn eine Wasserkraft zum Betrieb der Centralstation vorhanden wäre, und dies umsoweniger, als die Erhaltungskosten einer Wasserkraftanlage sehr bedeutende wären.

Der Oberbau der Budapester elektrischen Stadtbahn erforderte seit dem Bestand der Bahn (1889) keine Reparatur. Die Bahn ist die größte elektrische Stadtbahn des Kontinents. Auch in Wien, Dresden und Berlin besteht ein Netz elektrischer Bahnen nach dem Budapester System.

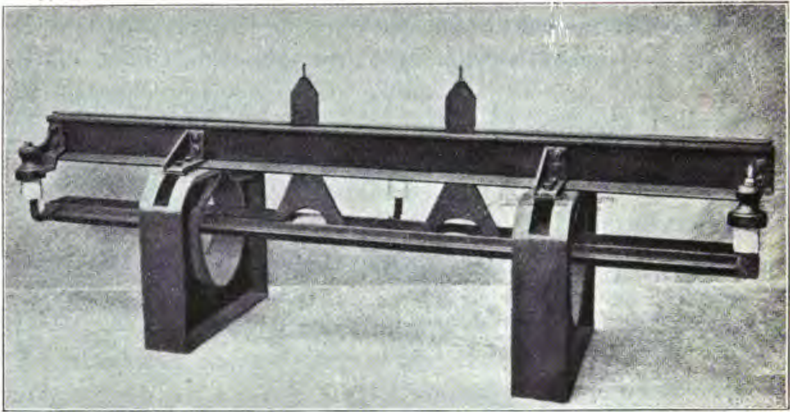


Fig. 78. Unterleitung mit Profileisen von T-förmigem Querschnitt.

Budapest besitzt von allen Städten Europas das größte Netz elektrischer Bahnen, und zwar: Rund 200 *km* Geleise mit Oberleitung, rund 80 *km* Geleise mit unterirdischer Stromzuführung und 7·6 *km* Geleise der Untergrundbahn. Für den elektrischen Betrieb stehen zur Verfügung 15.000 indicierte Pferdekräfte mit 10.000 Kilowatt Dynamomaschinenleistung, 10.000 m^2 Kesselheizfläche und vier Akkumulatorenbatterien von ungefähr 1800 Ampèrestunden Kapacität.

Soll der Übergang von der Oberleitung auf die Unterleitung und umgekehrt möglich sein, dann wird die Stromzu- und Stromrückleitung beim unterirdischen System auf der ganzen Bahnlänge durch symmetrisch geformte Profileisen von T-förmigen Querschnitt besorgt. Dieses System veranschaulichen die Figuren 78 bis 80. Ausführungen solcher Art bestehen z. B. in Berlin und Wien. Die

Befestigung der Profileisen geschieht hierbei alle 3·60 *m* durch Vermittelung eines in einem Gehäuse befindlichen zweitheiligen Porzellanisolators, der mittelst eines Trägers im Schienensteg und Schienenfuß seine Stützpunkte findet. Durch einen bequem abzunehmenden Deckel sind die Isolatoren von oben her zur Beaufsichtigung leicht zugänglich und auswechselbar. Man löst zu letzterem Zwecke die Leitungsschiene mittelst einer besonderen Handhabe und durch Abschrauben des Isolators von der Fahrschiene. Infolge dieser Anordnung zweier im Kanal im Abstande von 120 *mm* gegenüberliegender Leitungsschienen ist neben dem Schutz gegen vagabondierende Ströme eine große Sicherheit des Betriebes möglich. Etwa eintretende Isolationsfehler der einen Leitung bedingen noch keine dauernde Unterbrechung des Betriebes, da in einem solchen Falle einpolig, d. h. mit einer isolierten Leitung gefahren werden kann. Die andere Leitungsschiene liegt während dieser Zeit an Erde. Die zweipolige Anordnung ermöglicht weiters die Ausbesserung von Fehlern bei Tag und ohne Störung des Betriebes, so dass die Anwendung einer besonderen Rückleitungsschiene wenigstens die doppelte Sicherheit gegenüber den sonstigen einpoligen Systemen bietet. Kurzschlüsse können erst entstehen, wenn zufällig in beiden Leitungen schlechte Isolation gegen Erde eintritt. Die Herstellung der Kreuzungen und die Ausführung der Weichen ist bei diesem System eine so einfache, dass das Befahren derselben anstandslos vor sich geht. Die dabei entstehenden stromlosen Stücke der Leitungen sind gegen die früheren Ausführungen von 2 *m* Länge bei den neuen verbesserten Konstruktionen auf ungefähr 0·5 *m* herabgemindert. Der Übergang von dem einen Geleis auf das andere wird auch durch die gewählte Anordnung des Stromzuführungskanales erleichtert. Letzterer befindet sich in der einen Fahrtrichtung rechts, in der entgegengesetzten Fahrtrichtung links. Dieser Umstand vermeidet zunächst die Durchdringung zweier Kanäle im Herzstück. Befindet sich dagegen der Kanal in der Mitte, so wird diese Durchdringung nothwendig. Weiters erfordert diese Anordnung nur einen Stromabnehmer, da ein Wechsel desselben beim Befahren der Weichen nicht stattfindet. Der Übergang der Wagen von der oberirdischen auf die unterirdische Leitung geht ohne Betriebsunterbrechung



Fig. 79.
Unterleitung mit Profileisen von T-förmigem Querschnitt.

vor sich, indem das für die unterirdische Leitung bestimmte Kontaktschiff zwischen den Rädern und den Schlitzschienen herabgelassen und der Gleitbügel für die Oberleitung niedergelegt wird. Diese Einrichtung hat sich bereits seit mehr als drei Jahren in Budapest, Berlin und Wien vorzüglich bewährt.

In den Figuren 81 und 82 sind Kontaktapparate[1]) dargestellt. Das Kontaktschiff, Fig. 81, verlässt die Stromschiene und berührt dieselbe erst wieder, wenn es in die Gerade oder in die Ausweiche gebracht wird. Dieses Kontaktschiff besteht aus zwei mittelst Blattfedern gegen die Winkeleisen (Fig. 75 und 76) gedrückten, gusseisernen

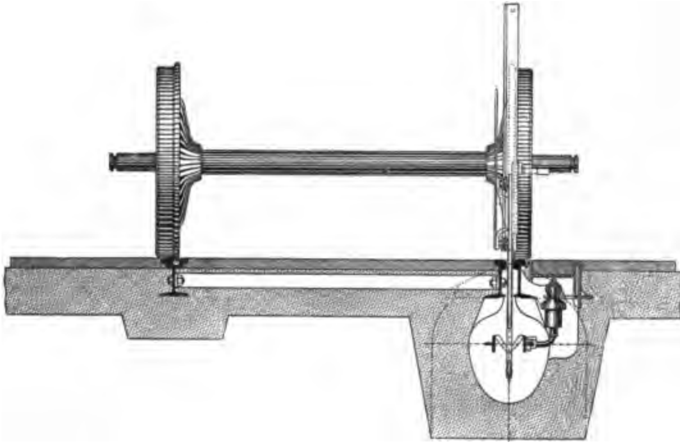


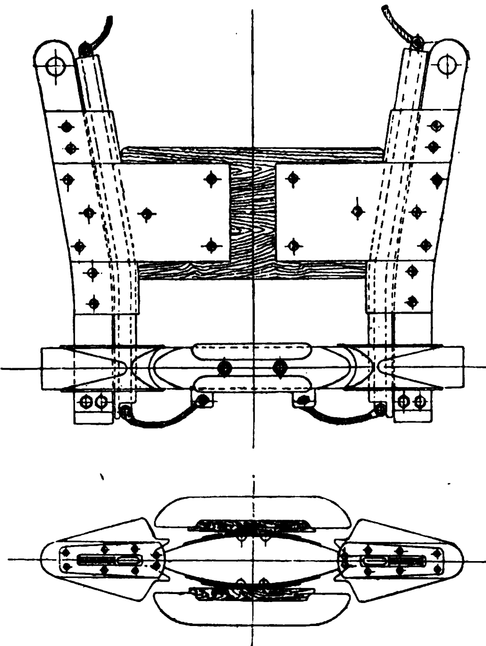
Fig. 80. Unterleitung mit Profileisen von T-förmigem Querschnitt.

Schuhen. Letztere sind durch Hartholz von den Blattfedern isoliert. Ein durch den Kanal gehender Greifer schiebt das von ihm isolierte Kontaktschiff vorwärts.

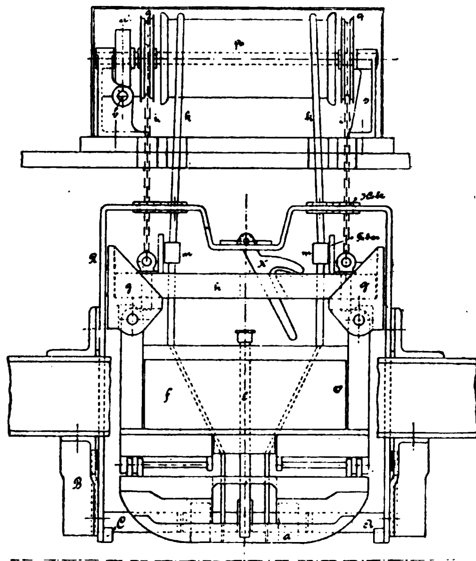
Der Greifer ist im Kontaktschiff so befestigt, dass er den seitlichen Bewegungen des Wagens Rechnung trägt. Das Kontaktschiff wird dabei von dem Kanalschlitze in der richtigen Lage gehalten. Isolierte, am Greifer befestigte Kabel leiten den Strom von den Gleitschienen zu den Polklemmen des Motors. Der Kontaktapparat wird gewöhnlich zwischen den beiden Rädern im Wagen angebracht, so dass er leicht beweglich und durch die Räder geschützt erscheint. Die Räder beseitigen etwaige Hindernisse. Motorwagen, welche für die An-

[1]) Karl Hochenegg, Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines 1897, Nr. 20.

bringung des Kontaktschiffes nicht eingerichtet sind, können durch einen kleinen Kontaktwagen auf den Linien der unterirdischen Stromzuführung betrieben werden.


Fig. 81. Kontaktschiff.

Bei dem Übergange eines Motorwagens von unterirdischer auf oberirdische Leitung muss das Kontaktschiff aus dem Schlitzkanal herausziehbar und wieder in den Kanal einsenkbar sein. Diese Aufgabe wurde von der Firma Siemens & Halske A.-G. in der folgenden eleganten Weise gelöst. Statt der gegeneinander gekehrten Winkeleisen (Fig. 75 und 76) wurden T-förmige, besonders gewalzte Façoneisen verwendet, deren breite Flächen gegeneinander gekehrt sind, Fig. 82. Durch die senkrechte Kontaktfläche wird die etwaige Entfernung eines schadhaft gewordenen Kontaktschiffes sehr erleichtert. Ein solcher Kontaktapparat kann einfach zwischen den Leitungen hindurch in den Kanal, beziehungsweise in einen Putzschacht gestoßen werden. Die Leitungsschienen lassen sich durch den Schlitz in den Kanal einbringen und daher bei fertigem Kanal auch auswechseln.


Fig. 82. Kontaktschiff.

Bei diesem System kommen andere Isolatoren zur Anwendung. Dieselben haben neben einer vorzüglichen Isolation den Vortheil, dass sie

leicht zugänglich sind und ohne die Pflasterung des Straßendammes aufreißen zu müssen, leicht entfernt oder eingebracht werden können. Die Isolatoren sind nicht mehr an den Gussbecken, sondern an den Fahrschienen befestigt. Zugänglich sind sie durch Gusskästchen von der Größe eines Pflastersteines. Das in der Figur dargestellte Kontaktschiff kann durch den nur 35 *mm* breiten Schlitz in den Kanal mittelst einer Rollenvorrichtung versenkt werden. Letztere ist in der Zeichnung ersichtlich, ihre Bedienung dauert nur wenige Sekunden. Geeignete Vorrichtungen bewirken, dass die auf den Leitungen schleifenden Bügel sich bei der senkrechten Auf- und Abwärtsbewegung selbstthätig zusammen-, beziehungsweise auseinanderklappen.

Dieses System der unterirdischen Stromzuführung nennt man Kanalsystem. Dasselbe hat folgende Schwierigkeiten:

1. Der Kanal muss kräftig gebaut werden, um die Gewichte der über denselben verkehrenden Lastwagen tragen zu können.

2. Der Schienenschlitz darf durch den Seitendruck des Pflasters nicht verengert oder gar geschlossen werden.

3. Die Reinhaltung des Kanals von Staub, Schlamm u. s. w.

4. Die Isolation der Stromzuführung aus dem Kanal in den Wagenmotor.

5. Zugänglichkeit der Leitungen. Diese Schwierigkeit ist durch kleine Untersuchungskästen, welche im Pflaster eingebettet sind, nahezu gänzlich beseitigt worden.

6. An den Kreuzungen und Weichen kreuzen sich die positiven und negativen Leitungen. Unterbricht man die Zuleitungen an solchen Stellen, so gehen die Wagen dort infolge ihrer lebendigen Kraft über die Unterbrechungsstelle hinweg. Durch Weichenkonstruktionen und neue Stromabnehmer im Kanal ist es gelungen, die Schwierigkeit der Weichen, nicht aber diejenige der Kreuzungen zu beseitigen.

4. Elektromagnetisches Kontaktsystem für elektrische Bahnen. Bei den elektrischen Straßenbahnen ist vornehmlich das System mittelst oberirdischer Stromzuleitung im Gebrauch. Nur in untergeordnetem Maße finden wir auch den Akkumulatorenbetrieb und den Betrieb mittelst Stromabnahme von einer in einem Schlitzkanal befindlichen stromführenden Schiene. Das billigste System, das überdies auch einen hohen Grad von Betriebssicherheit gewährt, ist das zuerst erwähnte. Die beiden anderen Systeme sind unstreitig theurer. Gegen das allgemein verbreitete System der oberirdischen Stromzuführung sind nun zahlreiche Klagen aufgetreten, und man muss sagen, mit vollem Recht. Die oberirdische Verlegung der Kontaktleitung bedingt eine Verunzierung der Straßen, insbesondere dort, wo mehrere Linien sich

kreuzen. Letzteres ist gerade auf großen Plätzen und wichtigen Verkehrsadern der Fall, die gewöhnlich auch in architektonischer Hinsicht hervorragend sind. Schwerwiegender als dieser Umstand spricht aber gegen das System die mittelbare und unmittelbare Gefahr, die es für die Passanten in sich birgt. Es kann nämlich die Kontaktleitung reißen. Das Drahtende, welches zu Boden sinkt, birgt bei zufälliger Berührung bedeutende Gefahren in sich. Es kommt aber auch sehr häufig vor, dass Schwachstromleitungen, die über der Fahrdrahtleitung montiert sind, reißen, sich im Falle um die Kontaktleitung wickeln oder auch an einen nicht isolierten Theil derselben legen und auf die Straße herabhängen. Solche Schwachstromleitungen bringen bei Berührung die gleiche Gefahr, wie eine gerissene Kontaktleitung. Schließlich kann der Starkstrom seinen Weg auch durch die Schwachstromleitung finden und in die Schwachstromapparate gelangen, wenn sie nicht gehörig gesichert sind.

Man war darum bestrebt, ein System zu ersinnen, dass die Vortheile der unterirdischen Stromzuführung besitzt, ohne jedoch ebenso theuer zu kommen, als etwa das Schlitzkanalsystem. Ein solches System ist das Kontaktsystem.

Es gibt wesentlich drei Theilleitersysteme, und zwar:

1. Die Theilleiter können durch Kontakte, welche der Wagen mechanisch bewegt, mit der Hauptstromleitung verbunden und von derselben getrennt werden. Die mechanisch bewegten Theile und Kontaktvorrichtungen müssen von außen zugänglich sein. Die Verschiebung oder Fassung derselben erfolgt von einer am Wagen befestigten Vorrichtung. Die Lösung dieser Aufgabe hat sehr große Schwierigkeiten.

2. Die Bewegung der Kontakte erfolgt durch auf dem Wagen befindliche Elektromagnete. Der magnetische Theil des Unterbrechers bewegt sich mit dem Wagen, der mechanische steht fest. Der letztere Theil wird nur eine kurze Zeit, welche von der Fahrgeschwindigkeit abhängt, durch den Magnet beeinflusst. Die gegenseitige Lage des anziehenden und des angezogenen Theiles ist von allen Bewegungen des Wagens abhängig.

3. Es bestehen gleichzeitig zwei Kontakte. Jeder Kontakt schließt den nächstfolgenden, während er den eben verlassenen öffnet. Die Elektromagnete befinden sich an festen Punkten und bilden mit den Kontakten elektromagnetische Unterbrecher.

Ayrton und Perry machten schon im Jahre 1883 den Vorschlag, Umschalter unter der Fahrbahn mittelst Magneten, die vom Wagen betrieben werden, in Thätigkeit zu setzen.

Eine ganze Reihe von Versuchen mit solchen Systemen haben zu keinem günstigen Resultate geführt. Die bei diesem System nothwendigen Schaltapparate erwiesen sich viel zu kompliciert, und auch ihre Anordnung auf der Strecke war unpraktisch. In neuerer Zeit sind aber einige Systeme dieser Art theils gebaut worden, theils in Ausführung begriffen, Systeme, die einen Fortschritt bedeuten. Ein solches Kontaktsystem wird jetzt z. B. in Wien ausgeführt nach dem Patente Hillischer.

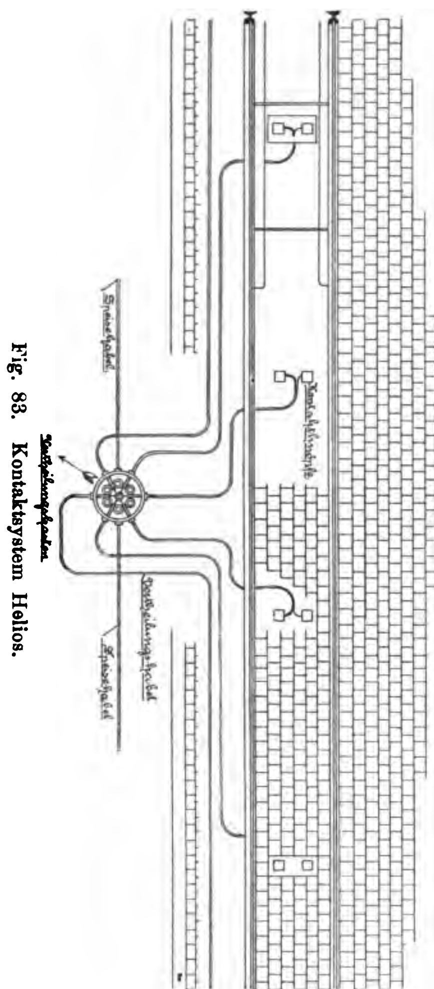


Fig. 83. Kontaktsystem Helios.

Im Folgenden soll ein, auch in neuerer Zeit entstandenes und ausgeführtes System der Firma Helios E.-A.-G. in Köln beschrieben werden. Wir wollen uns bei der Beschreibung dieses Systems der Figuren 83 und 84 bedienen. Die Fig. 83 zeigt uns das System in einer schematischen Skizze. Längs des Geleises, das auch bei diesem System als Rückleitung dient, sind Vertheilungskästen angeordnet. Das Speisekabel führt in diese Kästen. Von diesen Kästen aus werden mittelst Leitungen die zwischen den beiden Schienen angebrachten Kontaktknöpfe und mit Hilfe dieser, wie wir später sehen werden, die Wagenmotoren mit Strom versorgt. Die Wirkungsweise der Vertheilungskästen und der Vorgang, der sich bei der Stromentnahme abspielt, wird uns aus der Fig. 84 klar. In dieser Figur bedeuten M_0, M_1, M_0' und M_1' Kontaktknöpfe. Der Strom aus dem Speisekabel geht axial durch den Vertheilungsapparat zu einem Kontakthalter, der eine Reihe im Kreise angeordneter Kohlenkontakte trägt, von denen in der Fig. 84 die Kontakte K_0 und K_0' zu ersehen sind. Unterhalb dieser Kontakte befindet sich je ein Solenoid, das in seinem Innern einen axial ver-

schiebbaren Eisencylinder birgt. Axial durch diesen Cylinder führt das ein Kontaktknopfpaar speisende Vertheilungskabel, welches an seinem Ende ebenfalls einen Kohlenkontakt trägt. In der Figur sind zwei solche mit den Vertheilungskabeln verbundene Kohlenkontakte K_1 und K_1' gezeichnet. Am Wagengestelle befinden sich zwei Kontaktschienen, deren Länge so bemessen ist, dass sie immer mit wenigstens einem Kontaktknopfpaar in Berührung stehen. Auf dem Wagen befindet sich eine Akkumulatorenbatterie, die eine Klemmenspannung von 50 Volt besitzt. Die Verbindung dieser Batterie mit einer Klemme des Wagenmotors und mit einer Stromabnehmerschiene ist aus der Figur zu ersehen.

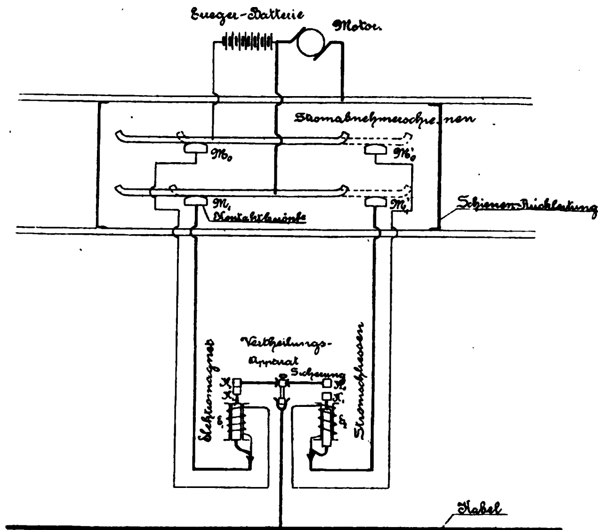


Fig. 84. Kontaktsystem Helios.

Ebenso zeigt die Figur die Schaltung der Solenoidwicklung. Bevor die Stromabnehmerschienen die Kontaktknöpfe berühren, sind diese völlig spannungslos, nachdem ja die Leitung vom Vertheilungsapparat an den Kontaktknöpfen unterbrochen ist. Untersuchen wir nun, was geschieht, wenn die Berührung zwischen Stromabnehmerschiene und Kontaktknopfpaar eintritt. Wie aus der Figur leicht zu ersehen ist, fließt in diesem Augenblicke ein Strom von der Batterie in die Solenoidwicklung, welche den Kontaktknöpfen M_0 und M_1 entspricht. Dadurch wird jetzt der Eisencylinder in die Höhe gezogen, der Kohlenkontakt K_1 tritt mit dem Kontakt K_0 in leitende Verbindung und schließt den Stromkreis vom Speisekabel über den Knopf M_1 zum Motor und zu

den Schienen. Ein kleiner Strom ladet gleichzeitig die Akkumulatorenbatterie. Das gleiche Spiel wiederholt sich beim jedesmaligen Berühren eines Kontaktknopfpaares. Die maximal von der Batterie zu liefernde Energie beträgt 100 Watt, was bei einer Klemmenspannung von 50 Volt einem Strome von 2 Ampère entspricht. Ein Hängenbleiben der Kohlenkontakte aneinander ist ausgeschlossen, weil der, in einer Messingführung gleitende, Eisencylinder nach dem Aufhören des, das Solenoid erregenden, Stromes durch seine Schwere sicher niedersinkt. Das System ist bei verschiedenen Witterungen, wie Schnee und Regen, erprobt worden und bedeutet jedesfalls einen wichtigen Fortschritt in der Entwicklung des Kontaktknopfsystems.

Weitere Theilleitersysteme sind: Claret-Vuilleumier,[1] Diatto,[2] Thomson-Houston, Schuckert, Union-Elektricitäts-Gesellschaft[3] (D. R. P. 98064), Raoul Demeuse[4]), F. C. Esmond in Brooklyn,[5] Frank Wynne[6] (D. R. P. 64132), O. Linker in Leipzig[7] (D. R. P. 98887), S. Thompson und M. Walker[8] (D. R. P. 99918).

Das System Claret-Vuilleumier war 1894 in Lyon ausgestellt und ist in Prag von F. Křižik auf der Belvedere-Bahn, das System Diatto in Tours und in Paris (1900), das System Schuckert auf der Versuchsstrecke Goethestraße in München angewendet worden.

II. Bahnen mit fahrbarer Elektricitätsquelle.

Das System der Bahnen mit fahrbarer Elektricitätsquelle oder das System der Akkumulatorenwagen besteht darin, dass der Elektromotor oder die Elektromotoren der Wagen von einer Elektricitätsquelle (Akkumulator) angetrieben werden, welche entweder unter den Sitzen des Wagens oder in einem eigenen Beiwagen, vor oder hinter dem Hauptwagen, untergebracht sind. Nach diesem System wurde zuerst im Jahre 1884 von Julien der Pferdebahnbetrieb versuchsweise durch den elektrischen ersetzt. Im Jahre 1887 setzte Reckenzaun in Philadelphia einen elektrischen Tramwaywagen mittels Akkumulatoren in Thätigkeit; auch in Melbourne, Berlin, Hamburg, Dresden, Kopenhagen, Turin, Hagen i. W., Frankfurt a. M. und Paris wurden

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1898, S. 443.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1895, S. 680. 1899, S. 395. Zeitschrift für Elektrotechnik, 1901, S. 2.

[3]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1899, S. 295.

[4]) L'Electricien, 1898, Nr. 368.

[5]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1898, S. 443.

[6]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1898, S. 444.

[7]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1899, S. 60.

[8]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1899, S 23.

bestehende Pferdebahnen durch Akkumulatoren angetrieben. Wagen mit zwei Elektromotoren und fahrbarer Elektricitätsquelle setzte zuerst die Julien-Electric-Traction-Co. in New-York in Betrieb. Akkumulatoren-Beiwagen wurden durch das System Sandwell eingeführt.

Der Akkumulatorenbetrieb gliedert sich in drei Arten:

1. Reiner Betrieb. Dieser Betrieb hat in größerem Maßstabe auf der Berlin-Charlottenburger-Straßenbahn Anwendung gefunden. Die Wagen sind vierachsig, das Eigengewicht der Batterie beträgt 6 *t*, die Leistungsfähigkeit bei einmaliger nächtlicher Ladung 150 bis 170 Wagenkilometer für den ganzen Tag. Das Erfahrungsmaterial über die bisherigen Betriebe dieser Art ist recht unsicher.

2. Gemischter Betrieb. Im Wagen ist eine kleinere Batterie vorhanden, welche für eine kürzere Strecke ausreicht. Während der Fahrt auf der übrigen Strecke wird die Batterie von der Kontaktleitung aus wieder aufgeladen. Diese Art des Betriebes ist in den Städten Hannover, Dresden, Berlin, Halle a./S. u. A. eingeführt worden.

3. Reiner Betrieb mit Schnellaufladung an den Endstationen. Dieser Betrieb stellt die neuesten Fortschritte mit Akkumulatoren dar. Praktische Ausführungen desselben stammen von der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft Hagen i. W. in Paris und Kopenhagen, sowie von Pollack in Frankfurt a./M. Die zweiachsigen Frankfurter Wagen sind mit einer Batterie von 2 *t* Gewicht ausgerüstet. Die Pariser Wagen benützen Batterien von 3·6 *t*, die Kopenhagener von 2 *t* Gewicht. Pollack ladet zu einer Fahrt von 17 Minuten nur 4—5 Minuten. Das Verhältnis von Ladung zu Entladung ist 1 : 4. In Kopenhagen dauert die Aufladung für 30 Minuten Fahrt 10 Minuten, so dass sich die Ladezeit zur Entladezeit wie 1 : 3 verhält.

Die Hauptfortschritte in der Akkumulatorentechnik sind:

1. Die soeben hervorgehobene rasche Streckenaufladung.

2. Die größere Haltbarkeit der Platten bei höheren Entladestromstärken und bei Wagenstößen im Vergleiche mit den Konstruktionen früherer Jahre.

Besondere Nachtheile des Akkumulatorenbetriebes sind:

1. Das Auswaschen der Batterie in bestimmten Betriebsintervallen.

2. Das Aufladen der Batterie alle vier Wochen mit einer höheren Spannung und die damit verbundene Umständlichkeit des Betriebes.

3. Gemischte Systeme. Zu diesen Systemen gehört der bereits erwähnte Übergang vom Akkumulatoren- auf den Oberleitungsbetrieb.

Ein weiterer gemischter Betrieb besteht darin, dass man mit demselben Wagen Strecken mit oberirdischem Draht und mit Kanal durchfährt. An den Übergangsstellen wird der Stromabnehmer im Kanal (Kontaktschiff u. s. w.) aus dem Kanal emporgehoben und festgehalten, während eine Rolle oder ein Bügel die Stromabnahme von der Oberleitung besorgt.

Die elektrischen Bahnen werden hauptsächlich als Straßen-, Untergrund und Hochbahnen ausgeführt.

20. Wahl des Systemes. Die größte Wirtschaftlichkeit ergibt der Oberleitungsbetrieb. Derselbe ist in kleinen Städten und in Städten mit weniger dichtem Verkehre stets anzuwenden. In großen Städten und in Städten mit dichtem Verkehre (rascher Wagenfolge) wird die Unterleitung wirtschaftlich möglich. Da sich jedoch der dichte Verkehr auch in Großstädten nicht gleichmäßig über das ganze Netz vertheilt, ist der gemischte Betrieb in den beiden letzten Fällen immer der günstigste. Der gemischte Betrieb mit Oberleitung und Unterleitung stellt sich wirtschaftlich günstiger als der gemischte Betrieb mit Oberleitung und Akkumulatoren. Die Wirtschaftlichkeit der Oberleitung und Unterleitung steigt mit der Raschheit der Aufeinanderfolge der Wagen. Folgt ein Wagen nach mehr als 10 Minuten dem andern, dann kommt der Akkumulatorenbetrieb in Betracht, dessen Wirtschaftlichkeit im Vergleiche mit der Ober- und Unterleitung sich um so günstiger gestaltet, je länger die Zeitdauer der Wagenfolge ist. In Städten mit starken Steigungen erscheint der Akkumulatorenbetrieb ausgeschlossen.

21. Der Wagen. Die Wagenuntergestelle sind aus den Untergestellen der Pferdebahnwagen hervorgegangen. Bei den Pferdebahnen laufen die Achsen in Lagern, welche untereinander in keiner festen Verbindung stehen; im Gegensatze hierzu sind die Lager der Motorenwagen durch Trägerkonstruktionen verbunden. Es entsteht so ein eigener Rahmen, auf dem ein oder zwei Elektromotoren befestigt sind. Die Achsbüchsen können sich in dem Rahmen in senkrechter Richtung auf- und abwärts bewegen. Der Rahmen trägt den bequem abhebbaren Wagenkasten leicht federnd. Die Elektromotoren sind auf dem Rahmen des Untergestelles ebenfalls federnd befestigt und umfassen an dem anderen Ende die Wagenachsen mittelst Büchsen. Die Übertragung der Bewegung von der Motor- auf die Wagenachse soll stoßfrei sein. Die große Last der Wagenausrüstung, hauptsächlich aber das große Gewicht des Motors und die Art seiner Aufhängung, bewirken ein starkes Stoßen und Hämmern der Wagen; dadurch werden die Schienen, ihre Verbindungen, die Zahnräder und selbst die Elektromotoren stark abgenützt.

Die Übersetzung kann mittelst einfachen oder doppelten Zahnrädern, Gliederketten, Schnecken, Kegelrädern, Drahtseilen, Lederriemen, oder wenn die Motoren sehr geringe Touren machen, auch mit direktem Antrieb der Wagenachse erfolgen. Zumeist findet der Antrieb der Wagenachsen durch Gliederketten oder Zahnräder praktische Verwendung. Die Gliederketten zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie in einfachster Weise eine geräuschlose Übersetzug herstellen, während die Zahnräder, um denselben Zweck zu erfüllen, mit Leder ausgekleidet oder genau geschnitten, ausgelaufen und gut geschmiert sein müssen. Bei der einfachen Zahnradübersetzung sitzen die beiden Zahnräder auf der Ankerwelle, beziehungsweise Wagenachse. Frühere und auch neuere Konstruktionen zeigten, beziehungsweise zeigen auch doppelte und einfache Zahnradübersetzungen und laufen vollkommen geräuschlos. Durch die einfache Zahnradübersetzung sinkt das Hebelverhältnis zwischen Ankerwelle und Radachse etwa auf die Hälfte herab, dadurch steigt die erforderliche Zugkraft des Ankers auf das Doppelte, und da ein besonders starkes magnetisches Feld vorhanden sein muss, ist eine besonders kräftige Konstruktion des Elektromotors bedingt. Die mechanischen Verluste durch eine einfache Zahnradübersetzung betragen etwa $5^0/_0$, durch eine doppelte Zahnradübersetzung rund $20^0/_0$ und durch eine Schnecke mit doppelter Steigung beiläufig $18^0/_0$. Riemen verlangen einen besonderen Schutz gegen Feuchtigkeit.

Eine bemerkenswerte Konstruktion zeigt der Bahnelektromotor von Siemens & Halske A.-G., Fig. 77; seine Aufhängung erfolgt unabhängig vom Wagenoberkasten direkt an den Laufachsen durch einen Riemen, der jede Bewegung der Achsen gegeneinander gestattet, weil zwei Punkte dieses Rahmens unverrückbar mit der einen Achse, der dritte aber nach allen Richtungen beweglich mit der zweiten Achse verbunden sind.

Siemens & Halske A.-G, Eickmeyer, Rae, Sperry & Short van Depoele u. A. rüsten ihre Wagen mit einem, Thomson-Houston, Sprague u. A. mit zwei Elektromotoren aus. Falls nur ein Elektromotor vorhanden ist, treibt derselbe entweder eine oder beide Wagenachsen an. Bei geringem Gewicht des Wagens erscheint es, zur Erzielung des nothwendigen Adhäsionsgewichtes, zumeist erforderlich, beide Achsen anzutreiben, da die Wagenräder bei zu niedrigem Adhäsionsgewicht auf den Schienen gleiten. Falls kein anderer Ausweg vorhanden ist, verhindert man das Gleiten der Räder durch das Aufstreuen von Sand auf die Schienen oder vermittelst auf dem Wagen untergebrachter Balastgewichte.

Nach vielfachen Versuchen hat es sich gezeigt, dass es gar keine

Schwierigkeit mehr bietet, jede Steigung zu nehmen. Nur das Bergabfahren bietet bei großen Gefällen bis heute noch nicht überwundene Hindernisse.

Bei den elektrischen Eisenbahnen erhält entweder jeder Wagen einen, beziehungsweise zwei Motoren (Motorwagen) oder es erhalten eine Reihe von Wagen eine gemeinsame elektrische Lokomotive. In Frankreich hat Heilmann Versuche angestellt, bestehende Eisenbahnzüge von einem eigenen, mit einer elektrischen Centrale ausgerüsteten Wagen aus, welcher mitfolgt, in Betrieb zu setzen. Jeder Wagen besaß einen eigenen Elektromotor, der von der Centrale aus Strom erhielt. Durch diese Versuchsanordnung sollen insbesondere hohe Fahrgeschwindigkeiten erreicht und hohe Steigungen, sowie starke Krümmungen genommen werden. Die Motorwagen nehmen leicht große Krümmungen und hohe Steigungen, während Lokomotivbahnen den genannten Hindernissen nicht gewachsen sind. In jüngster Zeit finden fast ausschließlich Motorwagen praktische Verwendung, während Lokomotivbahnen hauptsächlich in der Zeit der ersten Entwicklung der elektrischen Bahnen in Europa (1879) und in Amerika (Ausstellung in Chicago 1893) Eingang fanden.

Zum Bremsen der Wagen verwendet man Rad-, Schienen- und elektrische Bremsen; da bei den beiden ersteren die Räder, beziehungsweise Schienen stark abgenützt werden, empfiehlt sich bei den elektrischen Bahnen vorwiegend das elektrische Bremsen vermittelst Rückstrom.

Sprague wenden bis 20 Motorwagen an. Die Wagen werden von den verschiedenen Firmen mit 80 und mehr Sitzplätzen ausgerüstet.

Auf dem Wagendache erscheint die Kontaktvorrichtung aufmontiert. Dieselbe besteht, wie aus den bereits beschriebenen praktischen Konstruktionen hervorgeht, aus einem Schlitten, welcher innerhalb eines geschlitzten Rohres schleift (S. 64) oder einem Schuh, Fig. 67 bis 70, oder einem Bügel, Fig. 71, oder einer Rolle, Fig. 72, oder einem Wagen, Fig. 73 bis 74. Schuh, Bügel und Rolle werden durch eine Stange getragen, welche Federn gegen die Leitung drücken. Die Stange sitzt unmittelbar, mittelst einer eigenen Vorrichtung, auf dem Wagendache. Der Kontaktwagen wird durch ein Kabel von dem Wagen mitgenommen.

Falls der Durchmesser der Kontaktleitung stärker als etwa 6 *mm* ist, führt man häufig neben derselben eine eigene Stromleitung parallel; Strom- und Kontaktleitung sind dann stellenweise quer verbunden.

Bezüglich der Einrichtung der Akkumulatorenwagen sei auf § 19 verwiesen.

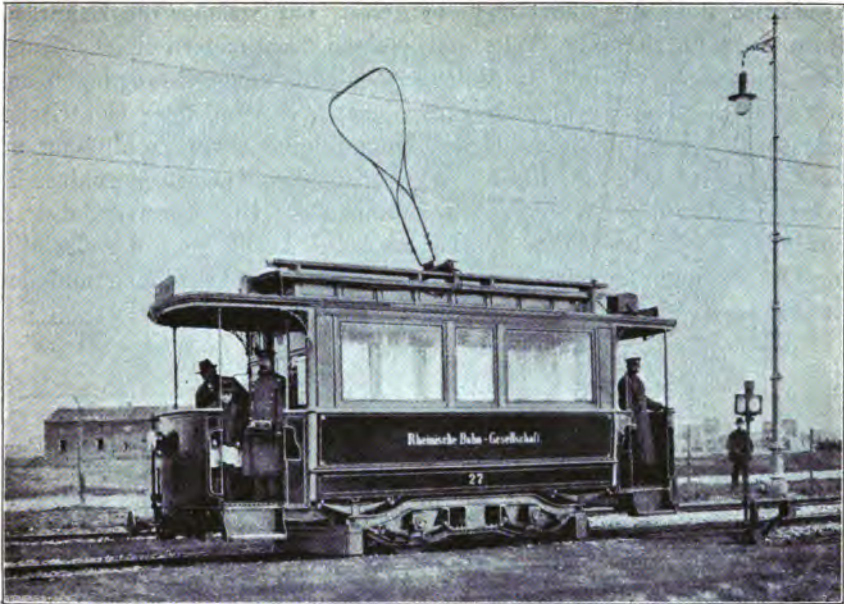


Fig. 85. Straßenbahnwagen.

Ein Bild der neuesten Konstruktion eines Wagens der Firma Siemens & Halske A.-G. zeigt Fig. 85.

22. Der Wagenmotor. Die Konstruktion des Wagenmotors entspricht völlig dem besonderen Zwecke, dem er dienen soll. Was seine Form anbelangt, so war man zunächst bestrebt, die Bauart möglichst niedrig zu wählen, da sonst das Wagengestell zu hoch würde. Die Fig. 86 zeigt schematisch einen solchen Motor. Er ist in einem Stücke gegossen und besteht aus Gusseisen oder Gussstahl. Als Anker finden Ringanker oder Trommelanker Verwendung. Der Ringkanker hat gegenüber dem Trommelanker den bei Bahnmotoren wesentlichen Vortheil, dass er im Falle einer Beschädigung leichter ausgebessert werden kann. Es ist klar, dass beim Fahren, besonders beim Überfahren der Schienenstöße der Wagen und mit demselben auch der Motor Erschütterungen ausgesetzt erscheint. Diese Erschütterungen wirken ungemein schädlich sowohl auf den mechanischen Theil der Motorkonstruktion als auch auf die Isolation der Drähte ein. Um das zu vermeiden, wird der Motor nach dem Vorschlage Spragues federnd aufgehängt, wie es die Fig. 87 darstellt Hat der Motor beide Achsen des Motorwagens anzutreiben, dann wird die Einrichtung so getroffen, wie es die Fig. 88 zeigt. Die Motor-

welle wird hohl ausgeführt und die Achse, auf welcher die Zahnräder sitzen, geht durch diese Welle mit einigen Centimetern Spiel. Durch diese Anordnung ist es dem Motor ermöglicht, kleine Bewegungen auszuführen. Bei dem gewöhnlich angewendeten System einer elektrischen Bahn liegt bekanntlich ein Pol des Motors durch seine Verbindung mit dem Wagengestelle an Erde. Bei vorkommendem Körperschluss im Motor würde also ein Kurzschluss eintreten. Um das möglichst zu verhindern, wird besondere Sorgfalt auf die Ausführung der Isolation der Drähte untereinander und der Isolation zwischen ihnen und dem Motorkörper gelegt.

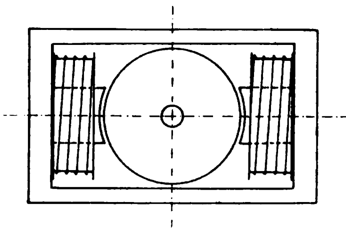


Fig. 86.
Wagenmotor.

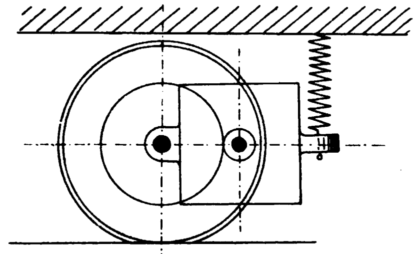


Fig. 87.
Federnde Aufhängung des Wagenmotors.

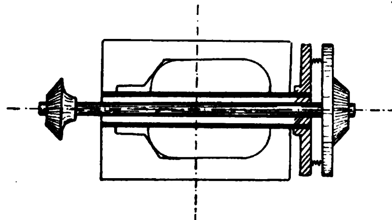


Fig. 88. Motor mit hohler Ankerwelle.

Die verwendeten Motoren sind gewöhnlich Serienmotoren, wegen der schon im Kapitel über die Kraftübertragung besprochenen günstigen Eigenschaften des Serienmotors. Bei der Konstruktion des Motors wird weniger darauf gesehen, dass derselbe mit möglichst hohem Wirkungsgrad arbeitet, als vielmehr darauf, dass er möglichst wenig Betriebsstörungen und möglichst wenig Reparaturzeit und Reparaturkosten verursacht. In Anbetracht der starken mechanischen Beanspruchung der Bahnmotoren, die noch durch die Einflüsse von Wind und Wetter und der höchst ungleichmäßigen Beanspruchung gesteigert werden, ist dieses Vorgehen ein vollständig zu billigendes.

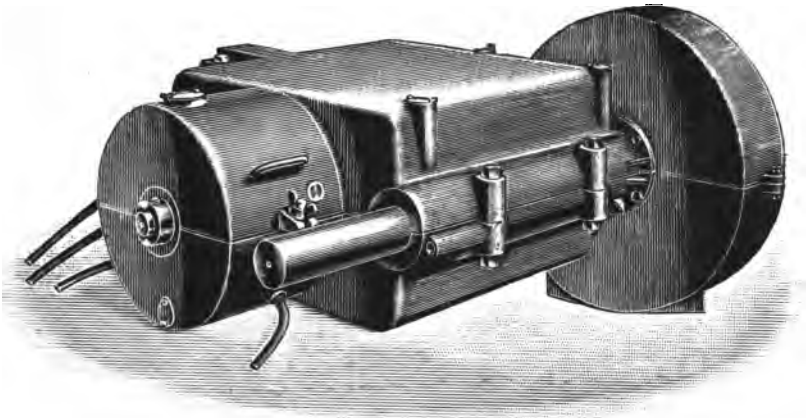


Fig. 89. Geschlossener Bahnmotor.

Die Figuren 89 und 90 geben die Konstruktion eines Bahnmotors der Aktien-Gesellschaft Elektricitätswerke (vormals O. L. Kummer & Comp.) wieder. Die Leistung beträgt normal 15 bis 25, maximal 35 *P. S.* bei normalen Geschwindigkeiten. Der Motor besitzt den Vortheil, dass er sehr niedrig ist. Obige Firma benützt den Grammering, während bei anderen Firmen auch Siemenstrommeln Verwendung finden. Für die Raumausnützung ist die Siemenstrommel vortheilhaft, weil sie einen geringen Durchmesser leicht zulässt, für die Isolation und den Aufbau der Wickelung dagegen ist der Grammering in der Regel vorzuziehen. Der Magnetkörper besteht aus Dynamostahlguss und hat die Form eines Kastens, welcher in seinem Innern den Anker birgt. In einem Anbau auf der einen Seite des Kastens befindet sich der Kollektor in einem

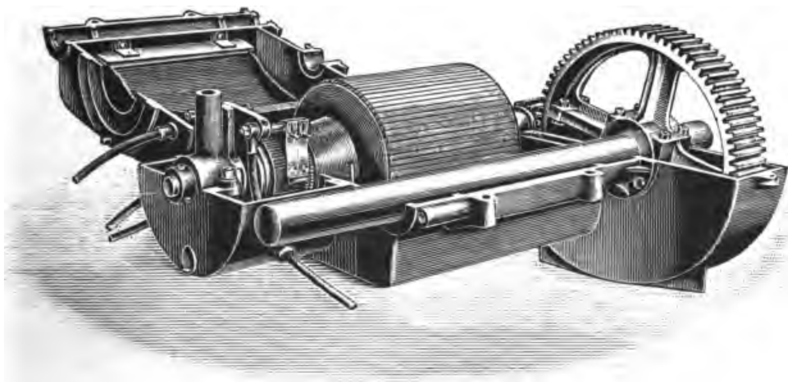


Fig. 90. Geöffneter Bahnmotor.

Anbau auf der zweiten Seite die Zahnradübersetzung. Die Wagenachse ist durch einen Anguss des Motorgehäuses durchgeführt. Es ruht somit ein Theil des Motorgehäuses auf dieser Achse, während ein anderer Theil durch das Wagenuntergestell federnd getragen wird. Die Magnetpole des Elektromotors sind oberhalb und unterhalb des Ankers angeordnet.

23. Der Übertragsmechanismus. Die Serienmotoren haben eine viel zu hohe Tourenzahl, als dass man sie direkt auf die Triebachse setzen könnte. Man ist vielmehr gezwungen, um eine geringere Tourenzahl der Triebachse zu erhalten, zwischen Ankerwelle und Triebachse eine Übersetzung einzuschalten. Wenn der Bahnmotor im Mittel, was gewöhnlich der Fall ist, 400 Umdrehungen in der Minute macht, dann genügt eine einfache Übersetzung von 1 : 3, 1 : 4 oder 1 : 5.

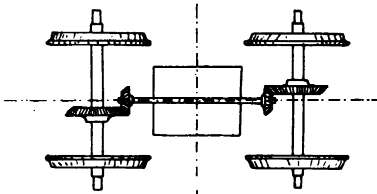


Fig. 91. Kegelradübersetzung.

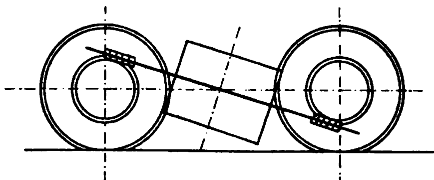


Fig. 92. Schneckenradübersetzung.

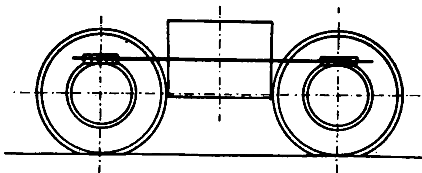


Fig. 93. Schneckenradübersetzung.

Als Übersetzung wird gewöhnlich eine Zahnradübersetzung gewählt, mittels Kammrädern, die mit Winkelzähnen versehen sind, damit das Geräusch während der Bewegung kein zu großes sei. Fig. 91 zeigt eine Kegelradübersetzung. Gewöhnlich verwendet man für die zwei mitsammen arbeitenden Räder verschiedene Materialien der aufeinander arbeitenden Theile, und zwar wählt man für das Zahnrad auf der Laufachse Gussstahl und für das Zahnrad auf der Ankerwelle ein weicheres Material und zwar Bronze oder bei geringem Zahndruck Rohhaut. Die Zahnräder sind in einem Schutzkasten eingeschlossen, in welchem sich konsistente Schmiere befindet.

Eine andere Art der Arbeitsübertragung auf die Triebachse ist die Kettenübertragung, bei welcher eine Kettenkonstruktion verwendet wird, die der Gall'schen Kette sehr ähnlich sieht.

Schließlich verwendet man zur Übertragung auch Schnecke und Schneckenrad. Eine eingängige Schnecke ist wegen der Eigenschaft der

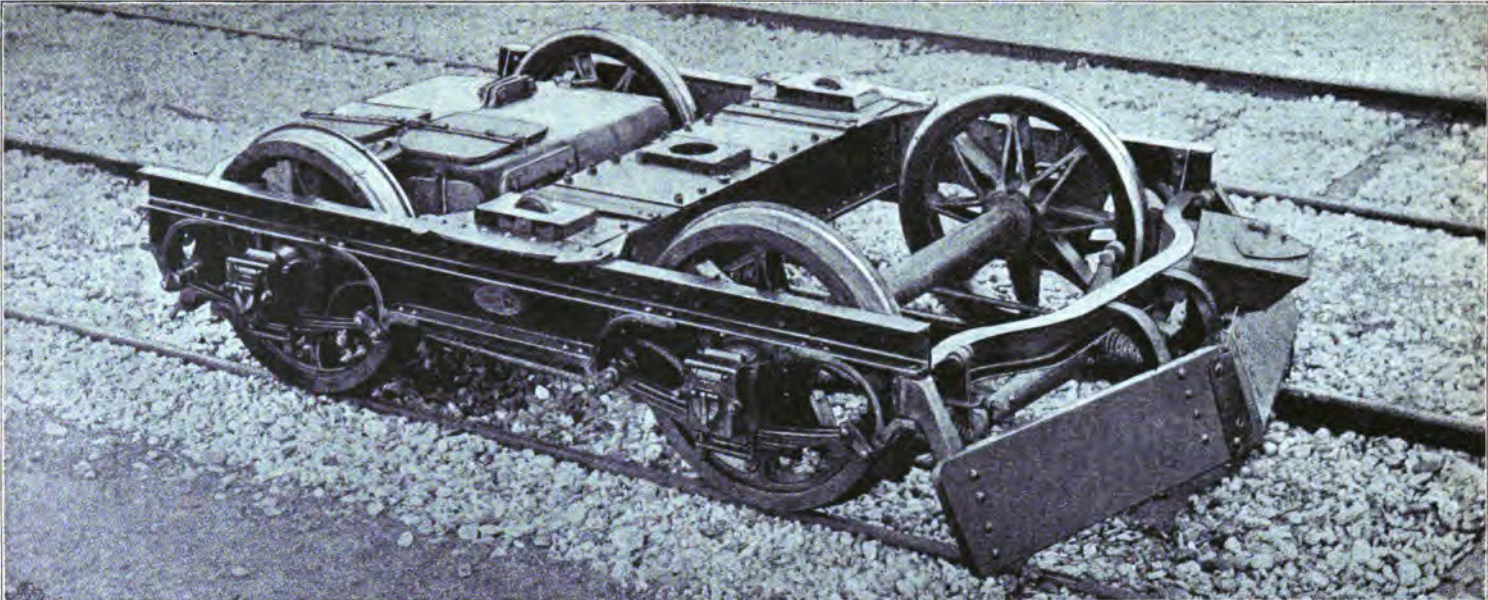


Fig. 94. Drehgestell eines vierachsigen Motorwagens mit eingebauten, unmittelbar auf der Wagenachse aufgesetztem Motor.

Selbsthemmung nicht zu verwenden. Es wird darum eine zwei- oder dreigängige Schnecke verwendet. Um den Achsdruck im Kammlager der Schnecke aufzuheben, werden zwei Schnecken verwendet, welche je eine Wagenachse antreiben. Dabei kann die Konstruktion so gemacht werden, wie es die Fig. 92 zeigt, wo die eine Schnecke rechtsgängig ist und bei dem einen Schneckenrad oben angreift, und die zweite Schnecke linksgängig ist und am zweiten Schneckenrad unten angreift. Um die Schieflagerung der Motorachse zu vermeiden, wird die Konstruktion auch so ausgeführt, wie es die Fig. 93 zeigt. Beide Schnecken sind bei dieser Ausführungsform linksgängig und beide greifen an den Schneckenrädern oben an.

Es wurden noch mancherlei andere Übertragungsmechanismen vorgeschlagen, wie speciell ein solcher, bei welchem Friktionsräder in Verwendung kommen sollen, doch haben sich alle diese Konstruktionen noch nicht in der Praxis eingebürgert.

Bei engen Krümmungen in den Stadtbezirken und um bei großen Fahrgeschwindigkeiten ein ruhiges Fahren zu erzielen, verwenden Siemens & Halske A.-G. Wagen mit Drehgestellen. Jedes Drehgestell der Motorwagen, Fig. 94, wird zumeist durch einen unmittelbar auf der Achse aufmontierten Elektromotor von 35 bis 40 *P. S.* angetrieben.

24. Die Schaltung und die Regulierung des Motors.[1]) Bei den elektrischen Eisenbahnen finden zumeist Hauptstrom- und Nebenschlussmotoren Verwendung. Während der Hauptstrommotor insbesondere rasch anfährt und große Belastungsänderungen leicht nimmt, hält der Nebenschlussmotor hauptsächlich annähernd gleiche Umdrehungen ein. Je schneller der Hauptstrommotor lauft, desto günstiger stellt sich sein Wirkungsgrad für den Bahnbetrieb.

Beim Fallen wird der Serienmotor ausgeschaltet.

Es erweist sich als von besonderer Wichtigkeit, dass die Stromkosten bei den elektrischen Bahnen nur etwa 10% der gesammten Betriebskosten bilden.

Der Nebenschlussmotor lauft mit annähernd gleichen Umdrehungen; überschreitet derselbe seine regelrechten Umdrehungen, dann gibt er Strom an die Linie ab und bremst sich selbst. Die Motoren bedürfen beim Anlaufen, sowie bei jeder Kraftübertragung, die vier- und mehrfachen Stromstärken, dagegen fast gar keine Spannungen. Zur Aufrechterhaltung der gleichen Spannung auf langen Linien finden überkompoundierte primäre Maschinen Verwendung: mit wechselnder Stromstärke steigt auch die Spannung. Da jedoch mehrere Motoren gemein-

[1]) Siehe auch K. Sieber, Elektrotechnische Zeitschrift 1901, S. 35.

sam Strom erhalten wird die Spannung, beziehungsweise Stromstärke in allen Stromkreisen gleichzeitig anwachsen. Aus diesem Grunde arbeitet man in solchen Betrieben mit verschiedenen Spannungen in den einzelnen Leitungen.

Sind zwei Serienmotoren vorhanden, so werden dieselben beim Anlaufen beide hintereinander und später nebeneinander geschaltet. Die Magnete der Elektromotoren können auch durch Sammler erregt werden. Die Regulierung der Fahrgeschwindigkeit geschieht durch vorgeschaltete Widerstände; da dieselben Strom tilgen, sollen sie bei regelrechter Fahrgeschwindigkeit ausgeschaltet sein. Thomson-Houston halten die Stärke des magnetischen Feldes beinahe konstant.

Der Querschnitt der Magnetwicklung wird demnach für die höchste Stromstärke und, der Windungszahl nach, für die auf horizontaler Bahn erforderlichen kleinen Stromstärken berechnet. Sprague und nach ihm die General-Electric-Co. zerlegen die Magnetwicklung des Hauptstrommotors in drei Abtheilungen. Durch Parallel- und Hintereinanderschalten der einzelnen Abtheilungen können bei dieser Reguliermethode sowohl ein annähernd konstantes, magnetisches Feld, als auch eine geringe Änderung der Geschwindigkeit und des Wirkungsgrades, bei verschiedenen Belastungen, erreicht werden. Daft verwendet zur Geschwindigkeitsregulierung ebenfalls verschiedene Schaltungen der Feldmagnetspulen. Sind zwei Motoren vorhanden, so können dieselben beim Anfahren sammt einem Anlasswiderstande hintereinander geschaltet, dann der Anlasswiderstand, die Magnetwickelung eines Motors und sein Anker kurz geschlossen werden. Bei der maximalen Leistung sind die Motoren nebeneinander geschaltet.

Zu den wichtigsten Einrichtungen eines mittelst elektrischer Kraft getriebenen Fahrzeuges gehört die Vorrichtung, welche die während des Betriebes nothwendigen Schaltungen an den Motoren vornimmt, welche Vorrichtung Fahrschalter oder Stromregler genannt wird. Zur Verwendung gelangen gewöhnlich Serienmotoren. Wir wissen schon vom Kapitel über die Kraftübertragung her, dass diese Motoren eine Selbstregulierung dahin besitzen, dass der von ihnen konsumierte Strom sich nach der Belastung richtet. Wenn also bei gegebener Belastung eine Regulierung der Motoren stattfinden soll, so hat diese sich auf die Regulierung der Umlaufsgeschwindigkeit der Motoren zu beschränken. Die auszuführenden Schaltungen erstrecken sich aber noch weiter. Es muss auch möglich sein, die Schaltung derart zu treffen, dass der Wagen rückwärts fährt. Ferner müssen auch mehrere Bremsschaltungen vorgenommen werden können. Jeder Straßenbahnwagen hat nämlich neben der mechanischen Bremse auch eine elektrische Bremse. Diese elek-

trische Bremswirkung kann nach verschiedenen Principien hervorgebracht werden. Die gewöhnliche Art ist die, dass der nach Abschalten des Betriebsstromes infolge der fortdauernden Wagenbewegung weiterlaufende Wagenmotor als Dynamomaschine wirkt und den von ihm erzeugten Strom in Belastungswiderstände schickt.

Wir wollen uns nun etwas genauer mit der Regulierung der Geschwindigkeit der Wagenmotoren beschäftigen.

In allen folgenden Figuren möge *r* die Stromzuführung zum Motor, *W* Widerstände, *s* Schenkelwicklungen, *a* den Motoranker und *e* die Erdverbindung des Motors bedeuten. Der Strom wird den Motoren durch den Abnahmebügel *r* nach dem Passieren des Schaltapparates

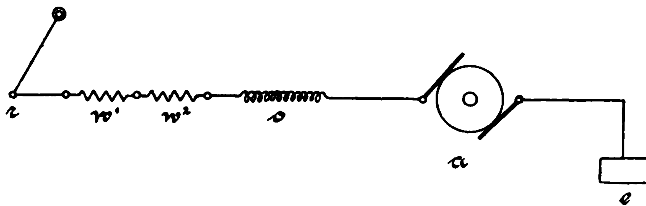


Fig. 95. Anfahren mit einem Motor

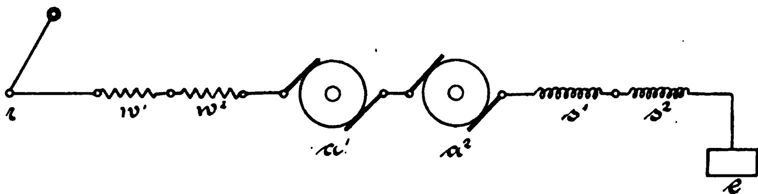


Fig. 96. Anfahren mit 2 Motoren.

zugeführt und geht nach dem Durchfließen der Motoren in die Schienen über, welche als Rückleitung dienen. Bei den folgenden Erörterungen möge auch festgehalten werden, dass die Belastung des Motors fortwährend ein und dieselbe ist, so dass auch der Betriebsstrom eine konstante Größe hat. Am einfachsten gestaltet sich die Geschwindigkeitsregulierung, wenn das Fahrzeug nur einen Motor besitzt, wie es in Fig. 95 angenommen ist. Beim Anfahren werden einfach Widerstände W_1 und W_2 dem Motor vorgeschaltet. Wir wissen, dass dieses Vorschalten der Widerstände zunächst den Zweck hat, zu vermeiden, dass ein zu großer Strom durch den Motor geht, nachdem ja bei Beginn der Bewegung noch keine gegenelektromotorische Kraft des Motors vorhanden ist. Andererseits wissen wir, dass die Tourenzahl eines Motors bei konstanter

Belastung proportional ist der Klemmenspannung. Durch Vorschalten der Widerstände, wird die Spannung an den Klemmen des Motors herabgedrückt, der Motor lauft langsam an. Allmählich werden die Widerstände W abgeschaltet, die Klemmenspannung des Motors steigt und folglich auch seine Tourenzahl, bis schließlich, wenn die Widerstände ganz abgeschaltet sind, der Motor an der vollen Betriebsspannung liegt und mit seiner größten Tourenzahl läuft. Hat das Fahrzeug zwei Motoren, so werden sie zunächst so geschaltet, wie es Fig. 96 andeutet. Die Motoren und ihre Erregerwicklungen sind in Serie geschaltet, und beiden sind die Widerstände W_1 und W_2 vorgeschaltet. Diese Anordnung bewirkt, dass die Spannung, an welcher die Motoren beim Anfahren liegen,

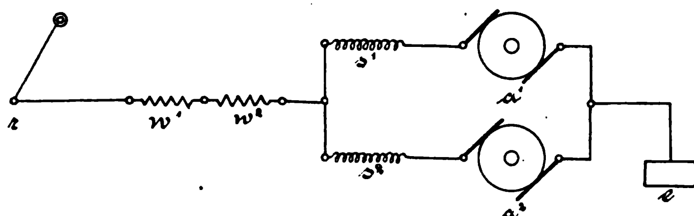


Fig. 97. Nebeneinanderschaltung zweier Motoren.

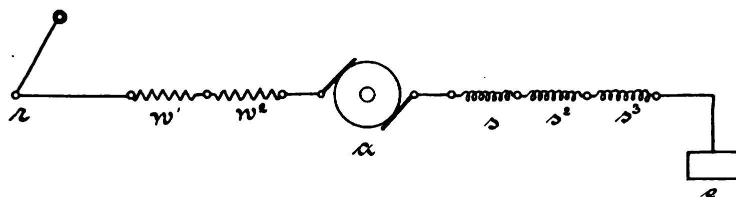


Fig. 98. Zerlegung der Magnetwickelung in 3 Theile. Anordnung.

durch die Widerstände W_1 und W_2 herabgedrückt wird. Ferner liegt jeder Motor, nachdem beide in Serie geschaltet sind, an der Hälfte dieser herabgedrückten Spannung.

Wenn der Wagen in Bewegung gekommen ist, werden zunächst die Widerstände W_1 und W_2 allmählich abgeschaltet, so dass schließlich jeder Motor an der halben Betriebsspannung liegt. Eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit wird dadurch hervorgerufen, dass die Motoren Fig. 97 mit einem gemeinsamen, vorgeschalteten Widerstande parallel geschaltet werden.

Jetzt liegt jeder Motor an der, durch die Widerstände W_1 und W_2 etwas herabgedrückten Betriebsspannung. Schließlich werden auch die

Widerstände W_1 und W_2 abgeschaltet und die größte Geschwindigkeit ist erreicht.

Statt, wie es bis jetzt geschehen ist, die Geschwindigkeit durch Änderung der Klemmenspannung der Motoren zu regeln, kann man auch das Magnetfeld der Motoren derart beeinflussen, dass sich die Tourenzahl der Motoren ändert. Wir haben schon im Kapitel über die elektrische Kraftübertragung davon gesprochen, dass die Tourenzahl

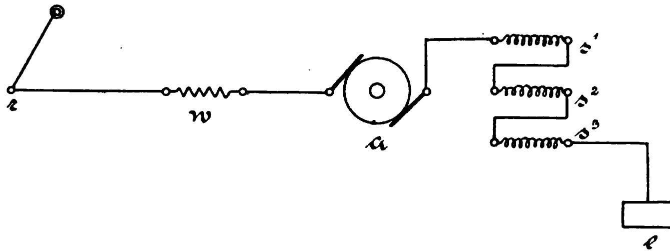


Fig. 99. Zerlegung der Magnetwickelung in 3 Theile. Anordnung 2.

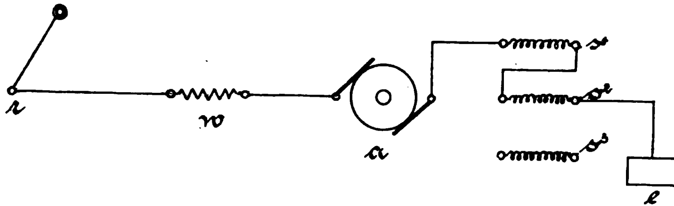


Fig. 100. Abschaltung der Magnetwickelung s_3.

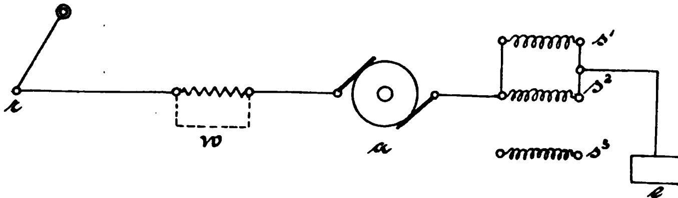


Fig. 101. Nebeneinanderschaltung der Magnetwickelungen s_1 und s_2.

eines Motors verkehrt proportional ist dem Kraftlinienfluss durch den Anker, also verkehrt proportional dem Magnetfeld (S.21). Je schwächer das Feld, desto rascher lauft der Motor und umgekehrt. Eine solche Änderung der Feldstärke kann bei einem Motor leicht bewerkstelligt werden durch Änderung der Ampèrewindungszahl auf den Schenkeln des Motors.

Nehmen wir wieder an, wir hätten nur einen Motor nach der zweiten Methode zu regulieren, Fig. 98. In diesem Falle wird einfach

die Erregerwicklung in mehrere Theile getheilt. Beim Anfahren sind sowohl die Widerstände W_1 und W_2 als auch sämmtliche Theile der Magnetwicklung eingeschaltet. Soll der Motor rascher laufen, werden zunächst die Widerstände W_1 und W_2 ausgeschaltet und hierauf allmählich die einzelnen Theile der Magnetwicklung bis auf einen. Diese Reguliermethode hat den Nachtheil, dass, wenn die Wicklungen s_2 und s_3 abgeschaltet sind, diese unbenützte Wickelräume ausfüllen. Darum wird die Anordnung auch folgendermaßen getroffen. Die drei Schenkelwicklungspartien sind zunächst hintereinander geschaltet, wie in Fig. 99. Die Ampèrewindungszahl beträgt $3\,J\,s$, wenn J der Betriebsstrom und s die Windungszahl jeder Wicklungspartie ist. Hierauf wird eine Partie s_3, abge-

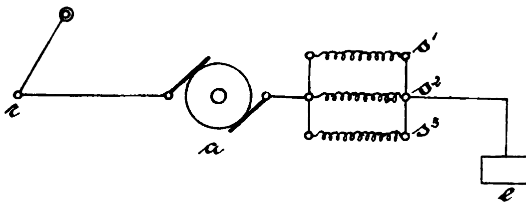


Fig. 102. Nebeneinanderschaltung der Magnetwickelungen s_1, s_2 und s_3.

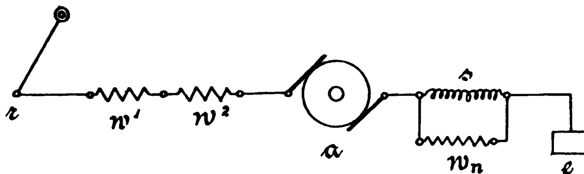


Fig. 103. Nebeneinanderschaltung des Widerstandes W_n zu der Magnetwickelung s.

schaltet Fig. 100. Es fließt also jetzt der Betriebsstrom durch eine Windungszahl, die $^2/_3$ der Gesammtwindungszahl der Magnetschenkel beträgt. Folglich beträgt auch die Ampèrewindungszahl $2\,J\,s$, also $^2/_3$ von früher. Jetzt werden die Theile s_1 und s_2 parallel geschaltet, Fig. 101. Die Windungszahl ist dieselbe wie früher, aber durch jeden Theil der Schenkelwicklung fließt, wegen der Parallelschaltung der Theile, nur die Hälfte des Betriebsstromes. Die Ampèrewindungszahl beträgt $2\,\frac{J}{2}\,s = J\,s$. Sie ist also gegen früher noch weiter gesunken. Schließlich werden alle drei Theile s_1 s_2 und s_3 parallel geschaltet, Fig. 102. Wohl sind jetzt alle drei Wicklungstheile der Magnetschenkel eingeschaltet, aber durch jeden Theil fließt nur der dritte Theil des Betriebsstromes. Die Ampèrewindungszahl beträgt $3 . \frac{1}{3}\,J . s = J\,s$; sie

ist also ebenso groß wie im vorhergehenden Falle, aber es sind alle Wicklungspartien vom Strome durchflossen, wir haben keine todten Wickelungsräume. Auch die Widerstände W_1 und W_2 wurden inzwischen abgeschaltet. Eine andere Art der Beeinflussung des Magnetfeldes ist in der Figur 103 dargestellt. Der Motor wird mit Hilfe der Widerstände W_1 und W_2 angelassen, hierauf werden diese abgeschaltet, und zum Schlusse wird,

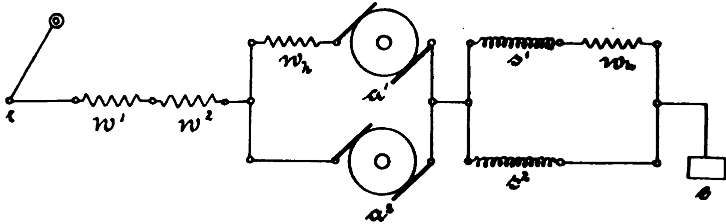


Fig. 104. Widerstand W_h in der Magnetwickelung s_1.

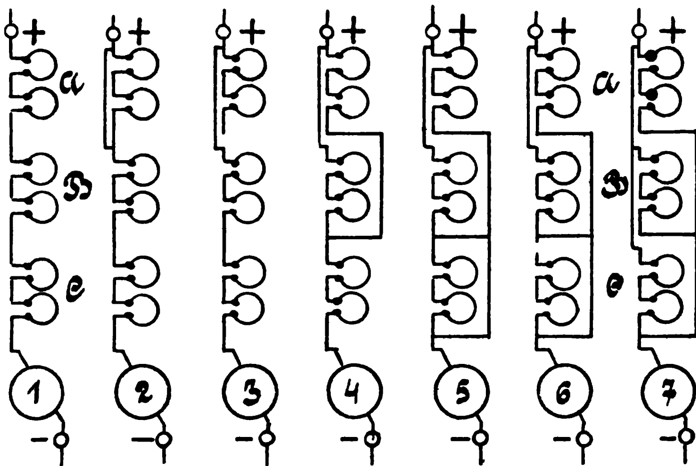


Fig. 105. Sprague'sche Schaltungsmethode.

um das Magnetfeld zu schwächen, der Widerstand W_n parallel zur Schenkelwicklung geschaltet, so dass, wenn W_n = Widerstand s, nur die Hälfte des Betriebsstromes durch die Magnetwicklung fließt. Die Folge davon ist, dass das Magnetfeld nur die halbe Stärke von früher hat. Man kann die Anordnung auch so treffen, dass man den Widerstand W_n selbst als Theil der Magnetwicklung ausbildet. Schließlich kann bei Verwendung von zwei Motoren auch so geschaltet werden, wie es die Figur 104 zeigt. Die Magnetwicklungen sind bei dieser Anordnung immer parallel geschaltet. Beim Anfahren sind die beiden Motoren in

Serie, bei voller Fahrt parallel geschaltet. Die Widerstände W_h dienen lediglich dazu, Fabrikationsungleichheiten der beiden Motoren auszugleichen.

Eine sehr häufig zu findende Schaltungsart der Motoren ist die Sprague'sche Schaltungsmethode, Figur 105. Bei diesem System besitzt jeder Motor drei Magnetspulen *A*, *B*, *C*. Bei + tritt der Strom von der Oberleitung ein, bei — tritt er in die Rückleitung. Die Kreise bedeuten den Motoranker, die Ziffern 1, 2, 3 . . . . bis 7, bedeuten die 7 Schaltungen von dem Momente des Angehens des Motors bis zur vollen Fahrt. Bei diesem Systeme wird auf die Geschwindigkeit des Motors durch Beeinflussung des Feldes eingewirkt. Zu Beginn der Fahrt sind die 3 Magnetwicklungen hintereinander, bei der vollen Fahrt parallel geschaltet. Bei gleichgebliebenem Betriebsstrom ist also im letzteren Falle die Ampèrewindungszahl auf den 3. Theil der zu Beginn der Fahrt vorhandenen gesunken. Die Zwischenschaltungen dienen dazu, das allmähliche Überführen der Serienschaltung in die Parallelschaltung durchzuführen, bei welchem Vorgange der Umstand erschwerend wirkt, dass die Stromleitung nie völlig unterbrochen werden darf. Der Vorgang, der bei diesen Schaltungen eingehalten wird, ist der folgende. In Schaltung 2 sehen wir, dass die Spule *A* durch einen Draht kurz geschlossen wird. In Schaltung 3 wird diese Spule unterbrochen und in Schaltung 4 findet ihre Parallelschaltung mit der mittleren Spule statt. In Schaltung 5 wird die Spule *A* kurzgeschlossen, in Schaltung 6 öffnet sie sich, und in Schaltung 7 wird sie parallel zu den Spulen *A* und *B* geschaltet.



Fig. 106. Wagenwiderstand.

Fig. 106 veranschaulicht einen Anlasswiderstand (Wagenwiderstand) für einen Straßenbahnwagen von Siemens & Halske A.-G. Dieser Widerstand besteht aus Stahlbändern, welche durch Asbest voneinander isoliert sind. Die einzelnen Bänder werden durch Eisenreifen zusammengehalten. Die in der Figur ersichtlichen sternförmigen Porzellantheile isolieren die einzelnen Rollen voneinander. Der ganze Anlasswiderstand

besteht aus vier solchen hintereinander geschalteten, in Stufen zu- und abschaltbaren Widerständen. Diese Widerstände sind in der Nähe des Motors, am Boden des Wagenkastens aufmontiert.

Einen Hauptausschalter von Siemens & Halske A.-G. zeigt Fig. 107. Der linke Theil der Figur gibt den Schalter, der rechte Theil das Gehäuse wieder. Dieser Schalter befindet sich oberhalb des Wagenführers auf dem Wagendache und dient insbesondere als Nothausschalter.



Fig. 107. Wagen-Hauptausschalter.

25. Der Stromregler (Kontroller). Der Apparat, der dazu dient, alle während der Fahrt des Wagens nothwendigen Schaltungen vorzunehmen, ist der Stromregler. Die Anforderungen, die an einen solchen Apparat gestellt werden, sind keine geringen, wenn man bedenkt, dass es sich bei den vorzunehmenden Schaltungen nicht nur um große Energiemengen handelt, sondern auch darum, den schwierigen Betriebsverhältnissen gerecht zu werden. Eine besondere Schwierigkeit bei der Konstruktion dieser Apparate liegt darin, dass sich beim Unterbrechen der Stromkreise Lichtbogen bilden, welche leicht, selbst mit Benützung von isolierenden Oberflächen, auf andere Metalltheile überspringen können. Um das zu verhindern, ist man zunächst bestrebt, die Lichtbogenlänge zu reducieren, was am einfachsten dadurch geschehen kann, dass man den Strom an mehreren Stellen gleichzeitig unterbricht. Ferner wird auch der sich bildende Lichtbogen durch den Einfluss eines Magnetfeldes ausgeblasen. Der Lichtbogen verhält sich nämlich wie ein vom Strom durchflossener Leiter, der von einem Magnete in beliebiger Richtung abgestoßen werden kann. Siemens & Halske A.-G verwendeten früher in ihren Apparaten Kohlekontakte, da unter Einwirkung der Lichtbogenwärme diese nicht schmelzen, sondern nur allmählich abbrennen, worauf dieselben ausge-

wechselt werden. Die Konstruktion des Schaltapparates wird gewöhnlich so getroffen, dass auf einer Walze aus isolierendem Material metallene Kontaktstücke in bestimmter Anordnung angebracht sind. Auf diesen Metallkontakten schleift eine Reihe federnder feststehender Bürsten, welche den Strom zu den Motoren und Apparaten in gewünschter Weise leiten.

Wir wollen für das oben besprochene Sprague'sche Schaltungssystem die Einrichtung des Stromreglers zeigen. Fig. 108 zeigt die Konstruktion der Schaltwalze. Die geschlossenen Flächen bedeuten metallische

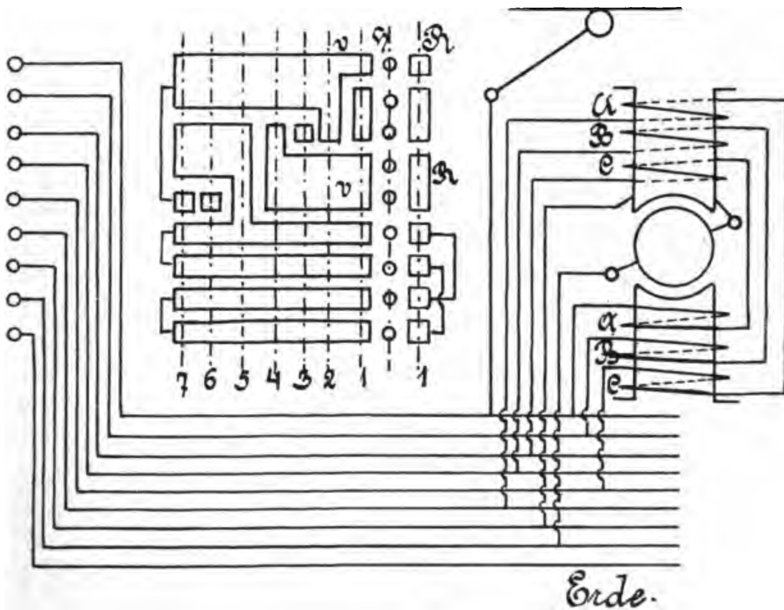


Fig. 108. Stromreglerschaltung von Sprague.

Theile, die am Umfang der aus isolierendem Material bestehenden Walze eingesetzt sind. Zwischen gewissen solchen Kontakttheilen bestehen auch Drahtverbindungen. Die kleinen Kreise links bedeuten die Bürsten. Rechts in der Figur ist das Schema des Motors mit den Magnetwicklungspartien *A*, *B* und *C* gezeichnet. Wir müssen uns nun die Walze gedreht denken, so dass die Bürstenreihe in die Lagen 1, 2, 3 . . . . 7 kommt, welche Lagen den in der vorigen Figur ebenfalls mit 1, 2, 3 . . . . 7 bezeichneten Schaltungen entsprechen. Wir sehen nämlich, wenn wir den möglichen Stromverlauf in der Figur verfolgen, dass thatsächlich den einzelnen Stellungen der Walze gegenüber den Bürsten die vorhin bezeichneten Motorschaltungen entsprechen. Außer diesen Schaltungen 1—7

ist noch eine Stellung *H* vorhanden, sie entspricht dem Ruhezustand der Motoren. Die Motoren sind nämlich bei dieser Schaltung ausgeschaltet.

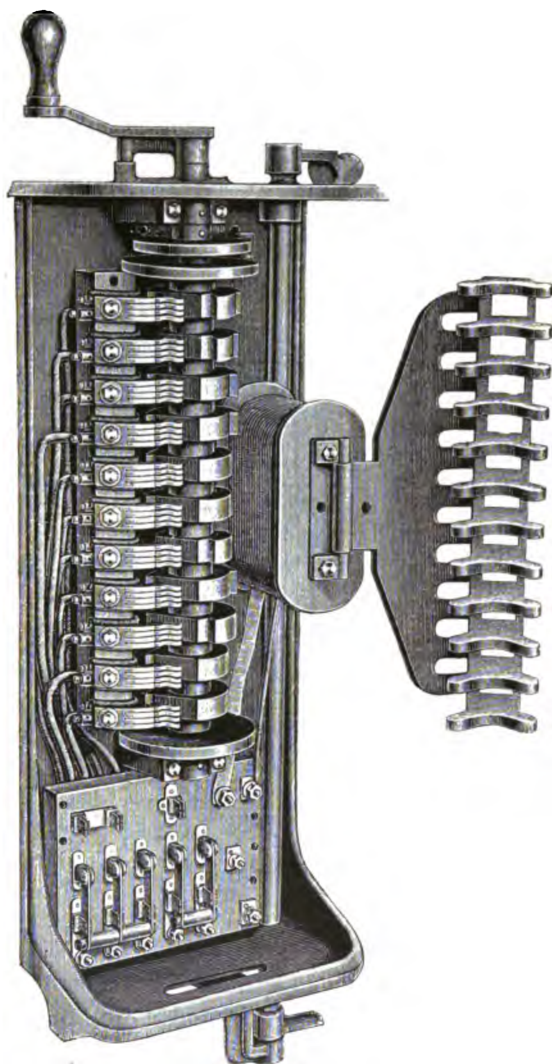


Fig. 109. Stromregler.

Ferner ist noch die Schaltung entsprechend der Stellung *R* vorhanden, sie entspricht völlig der Schaltung 1 von früher, und wird bei dieser Stellung der Bürsten der Anker in einer der beim Vorwärtsfahren bestehenden Richtung entgegengesetzten Richtung durchflossen, der Motor lauft verkehrt, der Wagen fährt rückwärts.

Die praktische Ausführung eines Schaltapparates zeigt die Figur 109. Wir bemerken die Schaltwalze, welche gewöhnlich aus Holz besteht, ferner links die aufgeklappten Blasmagnete und schließlich auch die Bürstenkontakte mit den Drahtanschlüssen. Diese Apparate befinden sich stets an den Stirnenden der Wagen und wird die Walze zumeist mit Hilfe einer Kurbel gedreht. Die genauen Stellungen der Walze werden dem Wagenführer durch Einklinkungen markiert. Für den Bau dieser Apparate waren die Amerikaner die Lehrmeister. Zu erwähnen wäre noch, dass an jedem Wagen, um ein sicheres Ausschalten des Stromes auch bei etwaigem Versagen des Stromreglers zu ermöglichen, ein Nothausschalter (S. 104, Fig. 107) vorhanden ist, und überdies auch ein selbstthätiger Maximalausschalter.

Beschreibung des Schalters von Siemens & Halske A.-G. für 2 Motoren und für Oberleitungs- und Unterleitungsbetrieb,) Fig. 110.*

Allgemeines.

Ein Schalter für elektrisch betriebene Fahrzeuge hat nachstehenden Anforderungen Genüge zu leisten: Stoßloses Anfahren, sowohl für Vorwärts- wie Rückwärtsfahrt mit einem und mit zwei Motoren, Vermeidung zu hoher Stromstärken beim Anfahren und normalen Bremsen, bequeme Regulierung der Fahrgeschwindigkeit und Herbeiführung einer wirksamen Bremsung im Falle der Gefahr.

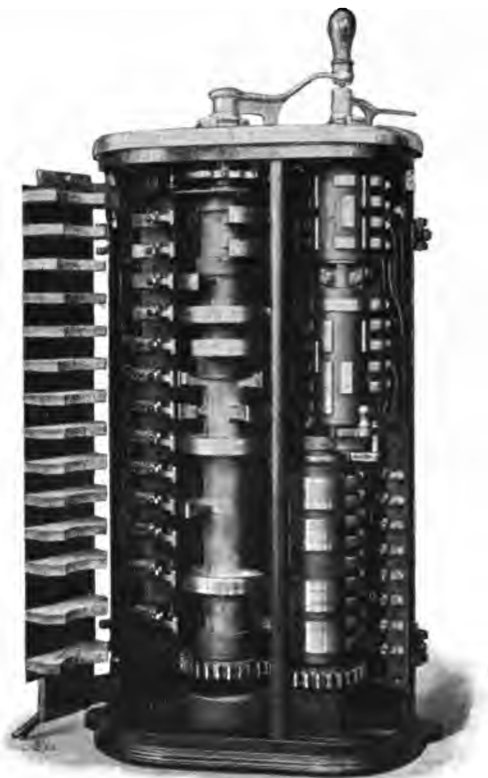


Fig. 110. Stromregler.

Bestandtheile.

Die Hauptbestandtheile des Schalters sind zwei gekuppelte Schaltwalzen, von denen die eine die Kontakte trägt, an welchen der Funken magnetisch ausgelöscht wird, während die andere die Umschaltung auf Fahrt- oder Bremsstrom im stromlosen Zustande bewirkt. Die Magnetspule des Funkenlöschers befindet sich am unteren Ende der Funkenlöschwalze. — Durch die Anordnungen von eisernen Typenscheiben wird an den Abreißstellen der Funken ein derart starkes Feld erzeugt, dass der Abstand von 2—3 *mm* zwischen den feststehenden Kontaktfingern und den sich drehenden Kontaktringen der Typenscheiben genügt, um den Funken vollständig auszulöschen.

---

*) Diese Beschreibung wurde dem Verfasser von Siemens und Halske A.-G. zur Verfügung gestellt.

Die Reinigung der Funkenlöschkontakte kann leicht erfolgen, da in der „Ausstellung“ diese Kontakte von allen Seiten freistehen.

Da von allen anderen Kontakten das Feuer des Unterbrechungsfunkens vollständig ferngehalten wird, so ist ein dauernd guter Kontakt und eine lange Benutzungsdauer derselben gewährleistet.

Das gänzliche Abschalten des einen oder des anderen Motors — auch bei zweipoligen Bahnen — kann selbst im Dunkeln durch einen einfachen Handgriff erfolgen.

Sowohl die Hubhöhe der Kontakte als auch der Auflagedruck derselben, sind durch eine Stellschraube einstellbar, so dass durch bloßes Nachstellen der Schrauben, auch wenn sich die Kontakte mit der Zeit abnutzen, ein guter Kontakt hergestellt werden kann.

Bedienung.

Die Bedienung des Schalters ist eine äußerst einfache. Sowohl zum Vorwärtsfahren, als auch zur Bethätigung der Kurzschlussbremse wird lediglich die große Schaltkurbel benutzt und zwar in der Weise, dass die Kurbel von der Haltestellung aus für „Vorwärtsfahrt“ in der einen Richtung und für „Bremsstrom“ in der anderen Richtung bewegt wird. Auf den einzelnen Schaltstufen werden die Vorschaltwiderstände, welche zum Anfahren und zum Abstufen der Bremswirkung erforderlich sind, nach und nach abgeschaltet, sowie die Hintereinanderschaltung der Motoren, welche im Anfang für ein wirtschaftliches Anfahren erforderlich ist, in die Parallelschaltung umgeändert. Soll der Wagen rückwärts fahren, wie es z. B. zum Rangieren öfter erforderlich ist, so wird der kleine Schalthebel, welcher sich rechts von der großen Schaltkurbel befindet, aus der „Halt“-Stellung auf „Rückwärts“ gelegt, wodurch die Umkehrung der Stromrichtung herbeigeführt wird. Durch Bethätigung der großen Kurbel in derselben Weise, wie bei „Vorwärtsfahrt“ wird dann der Wagen nach rückwärts in Bewegung gesetzt, auch kann bei der Fahrt nach Rückwärts der Motor durch Kurzschließen gebremst werden, genau wie bei der Vorwärtsfahrt. Diese letztere Einrichtung ist von besonderem Werte für Straßenbahnen mit erheblichen Steigungen, da bei einem Versagen des Oberleitungsstromes ein Rückwärtsrollen des Wagens auf der Steigung auch dann noch verhindert werden kann, wenn die mechanische Bremse gleichzeitig schadhaft wird.

Die Arretierung, welche die Schaltkurbel und den Schalthebel gegenseitig blockiert, hat folgende Einrichtung: Ein Umschalten des kleinen Hebels erscheint ausgeschlossen, wenn nicht vorher die Schaltkurbel der großen Walze in die Nullstellung, bei welcher der Strom ausgeschaltet wird, gebracht ist. Andererseits kann aber auch die

große Walze nicht bewegt werden, so lange der kleine Schalthebel auf „Halt“ steht. Es wird dadurch ein Umschalten der kleinen Walze unter Strom und das Auftreten von Funken an derselben unmöglich gemacht.

Wenn ein Motor untauglich wird, so kann derselbe auch im Dunkeln durch Drehen an der rechten mittleren Schaltwalze auf einen Griff gänzlich abgeschaltet werden. Durch diese Drehung werden aber auch die beiden gekuppelten Schaltwalzen derart gesperrt, dass nur mehr auf den ersten Fahrstufen (Motoren hintereinander) und auf allen Bremsstufen geschaltet werden kann.

Die Kontaktfingerböcke sind zum Theile als Anschlussklemmen ausgebildet, zum Theile befinden sich eigene Anschlussklemmen auf der rechten Schalterseite. Durch diese Anordnung können die Kabel von den Motoren und Widerständen unverletzt bis in den Schalter geführt und dort einfach angeklemmt werden, wodurch sich die Montage der Schalter sehr vereinfacht. Außerdem erspart man dadurch Klemm- beziehungsweise Löthstellen an den Kabeln und beschädigt nirgends die Isolation der Kabel außerhalb des Schalters.

26. Wagenschaltungen. Das Schaltungsschema eines Motorwagens Fig. 111 zeigt zunächst die Verbindung der beiden Stromregler (Perronumschalter 1 und 2) mit den beiden Motoren 1 und 2. Aus dieser Figur sind des Weiteren alle Apparate und Schaltungen zu ersehen, welche zum Betriebe des Motorwagens erforderlich sind. Der Stromverlauf ergibt sich aus den Buchstaben der Figur oder dadurch, dass man sich die Motorschaltung soweit heruntergerückt denkt, bis sich die zugehörigen Verbindungsleitungen decken. Hat man die Verbindungsleitungen zur Deckung gebracht, dann ersieht man aus der Figur die Abzweigungen zu den Motoren.

Die Schaltung eines Motorwagens mit zwei Hauptstrommotoren der Aktien-Gesellschaft Elektricitätswerke, vormals O. L. Kummer & Co., Dresden-Niedersedlitz gibt Fig. 112 wieder.

Die Motoren 1 und 2 sind durch den Anker und die Bürsten veranschaulicht. Der Stromregler erscheint, sowie in der letzten Figur, aufgerollt. Die verschiedenen Schaltungen sind aus den Fig. 95 bis 104 ersichtlich. Bei der elektrischen Bremsung arbeiten die Motoren in Parallelschaltung auf Anlasswiderstände und auf Magnetwindungen. Zur Nachweisung des Stromverlaufes in dem Schaltungsschema Fig. 112 dient folgende Anweisung: Die arabischen Ziffern 1 bis 15 bezeichnen Schleiffedern. Die Schleiffedern des linken Stromreglers z. B. denke man sich auf die Reihe des aufgerollten Stromreglers gelegt, von welcher aus man die Schaltung ermitteln will. Der Strom tritt aus dem Fahr-

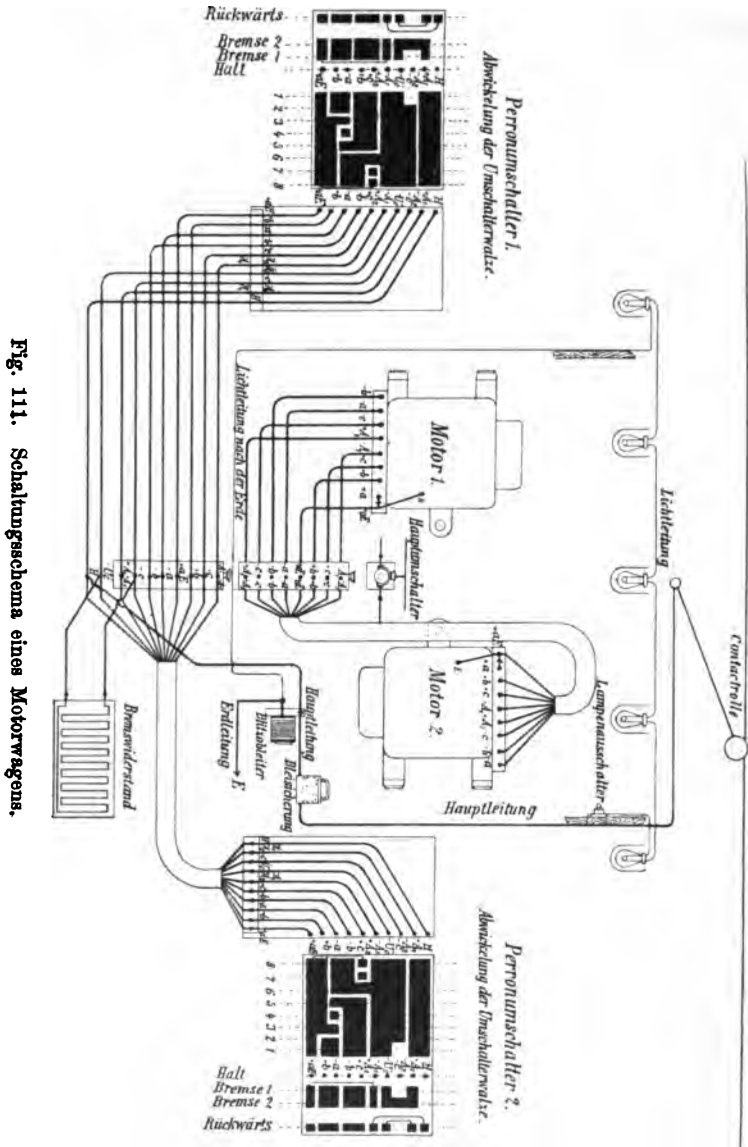


Fig. 111. Schaltungsschema eines Motorwagens.

draht in den Automat, in den Nothschalter, zweigt einen Nebenschluss für die Beleuchtung ab, führt zu einer Schleiffeder, zu Schleifkontakten entsprechend einer der Stellungen Fig. 95 bis 104; durch den Blasmagnet, durch eine Schleiffeder, den Kollektor des Motors 2, den Anker dieses Motors, aus dem Anker nach dem Motor 1, durch die Magnetwickelung des Motors 1 zur Erde.

27. Die Berechnung des Motorwagens. Bei dieser Berechnung haben wir zwei Größen zu suchen, nämlich 1. die nothwendige Zugkraft des Motors und 2. das Gewicht des Motorwagens. Nachdem wir es nämlich bei den Straßenbahnen mit Adhäsionsbahnen zu thun haben, gilt auch bei diesen der Satz, dass der mit den Motoren ausgerüstete Wagen nur einen bestimmten Theil seines Adhäsionsgewichtes zu ziehen vermag, bei Straßenbahnen $^1/_7$ bis $^1/_8$ desselben. Berechnen wir zunächst das Mindestgewicht des Motorwagens. Nehmen wir an, das Gewicht des voll besetzten Motorwagens betrage P Tonnen, das Gewicht des voll besetzten Anhängewagens Q Tonnen. Wir haben also im Ganzen eine Last von $(P + Q)$ Tonnen auf den Schienen vorwärts zu bewegen. Wir nehmen nun an, dass zur Vorwärtsbewegung einer Last von einer Tonne auf horizontalem Geleise eine Kraft $w = 10$ bis 12 *kg* nothwendig sei. Die Größe w nennt man auch den Bahnwiderstand. Nun kommen aber bei jeder Bahn im allgemeinen auch Steigungen vor. Die nothwendige Zugkraft auf einer Steigung ist natürlich größer als auf ebener Bahn. Wir müssen nämlich zur Vorwärtsbewegung auf der Steigung nicht nur w aufwenden, sondern auch noch eine Kraft, die dazu dient, diejenige Komponente des Gewichtes der Last, welche, parallel zur

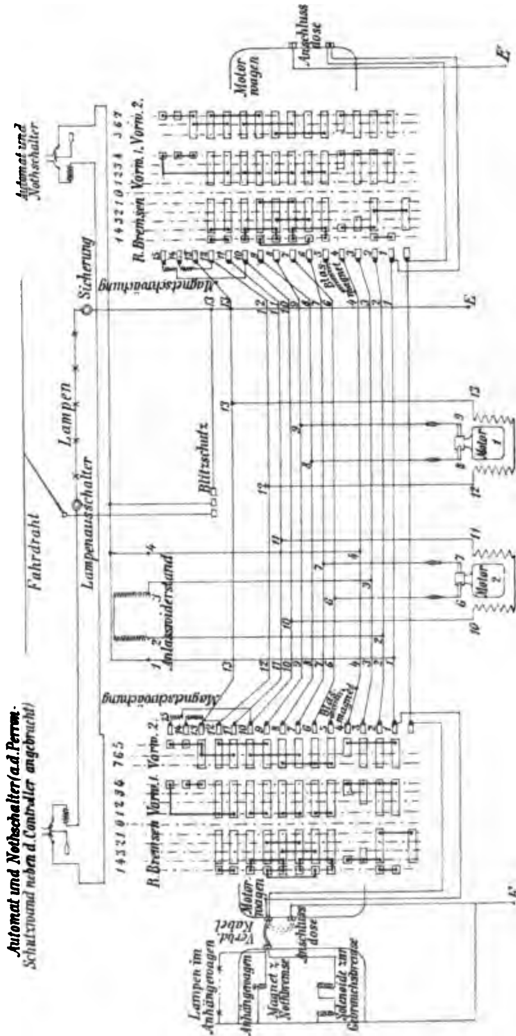


Fig. 112. Schaltungsschema eines Motorwagens.

schiefen Ebene wirkend, die Last nach abwärts zieht, zu überwinden. Nehmen wir an, die Last auf der schiefen Ebene betrage q Tonnen. Die Neigung der schiefen Ebene sei $\frac{1}{n}$, wobei wir hier die größte auf der Strecke vorkommende Steigung als maßgebend annehmen. Die Componente der Last Q parallel zur schiefen Ebene hat nun die Größe $Q \sin \alpha$, wenn α der Neigungswinkel der schiefen Ebene ist. Nachdem α klein ist, können wir statt $\sin \alpha$ auch $tg\, \alpha$ setzen und dafür den Wert $\frac{1}{n}$. Die Komponente hat daher die Größe $q \cdot \frac{1}{n}$. Nehmen wir als Last 1 Tonne = 1000 *kg* an, dann beträgt die zur Beförderung jeder Tonne Last auf der schiefen Ebene nach aufwärts aufzuwendende Kraft $w + 1000 \cdot \frac{1}{n} = W\,kg$. Nachdem unsere Last die Größe $(Q + P)$ Tonnen beträgt, haben wir also eine Zugkraft aufzuwenden von $W \cdot (Q + P)\,kg$. In diesem Ausdrucke sind natürlich Q und P in Tonnen einzusetzen. Andererseits beträgt aber die Zugkraft Z in *kg*, wenn das Adhäsionsgewicht P Tonnen beträgt, $\frac{1000\ P}{f}$.

f hat bei Straßenbahnen, wie schon erwähnt, den Wert 7 bis 8. Wir erhalten also die folgende Gleichung:

$$Z = \frac{1000\ P}{f} = W(Q + P). \quad \text{Daraus folgt:}$$

$$1000\ P = f \cdot W \cdot Q + f\, W\, P$$

$$P(1000 - f\, W) = f \cdot W \cdot Q$$

$$P = \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f\, W} \quad \ldots \quad 1.)$$

Wenn P gerechnet ist, dann können wir auch für die Zugkraft Z einen Ausdruck ableiten, in welchem Z lediglich abhängig ist von Q, der zu befördernden Nutzlast und den Verhältnissen der Bahn. Wir schreiben:

$$Z = \frac{1000\ P}{f}.$$

Setzen wir in diese Gleichung den Wert für P aus der Gleichung 1 ein, so erhalten wir:

$$Z = \frac{1000}{f} \cdot \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f\, W} \quad \text{und}$$

$$Z = \frac{1000 \cdot W \cdot Q}{100 - f\, W} \quad \ldots \quad 2.)$$

Wir wollen noch die Leistung L der Motoren in HP berechnen. Es sei v die Geschwindigkeit des Wagens in m per Sekunde. Die aufzuwendende Zugkraft beträgt $W(P+Q)\,kg$.

η sei der Nutzeffekt der Motoren. Für L erhalten wir dann den folgenden Wert:

$$L = W(P+Q)\,v \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{\eta} \quad . \; . \; . \; . \; 3.)$$

Führen wir in diese Gleichung die Geschwindigkeit in km pro Sekunde ein und bezeichnen wir diese mit V, dann besteht die Beziehung:

$$v = \frac{V \, . \, 1000}{3600} = \frac{V}{3{\cdot}6}$$

und wir können die Gleichung für L auch schreiben:

$$L = W(P+Q) \, . \, \frac{V}{3{\cdot}6} \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{W \, . \, V \, . \, (P+Q)}{270 \, . \, \eta} \quad . \; . \; . \; . \; 3^*.)$$

Die im Vorhergehenden berechnete Zugkraft ist die normale Zugkraft. Es ist aber zu bedenken, dass beim Anfahren die nothwendige Zugkraft den dreifachen Wert der normalen übersteigt. Der Vortheil des Serienmotors liegt eben darin, dass er imstande ist, diese Überlastung leicht auszuhalten. Nachdem wir nun das Mittel besitzen, die nothwendige Zugkraft an jeder Stelle der Bahn zu berechnen, ist es auch nicht mehr mit besonderen Schwierigkeiten verbunden, die Kraftstation zu berechnen. Man braucht sich zu diesem Zwecke nur ein Schema zu verzeichnen, das die Vertheilung der Wagen auf der Strecke in verschiedenen Momenten darstellt. Für jede dieser Wagenvertheilungen können wir uns die Summe der nothwendigen Zugkräfte rechnen. Die sich hiebei ergebende maximale Zugkraft benützen wir zur Berechnung der nothwendigen Stromstärke, und mit Hilfe dieser Größe bestimmen wir dann die Größe der Kraftstation.

28. Die Bremsen. Die Bremsung des in Bewegung befindlichen Wagens erfolgt durch Andrücken von Bremsbacken an die Radreifen. Bethätigt wird diese Bremse vom Führerstand aus mittelst Kurbel und Ketten. Gewöhnlich besitzt ein zweiachsiger Wagen 8 Bremsklötze. Der Andruck der Klötze an die Radreifen wird dadurch gesteigert, dass man eine mehrfache Übersetzung zwischen Bremskurbel und Bremsbacken einschaltet. Außer der mechanischen Bremse besitzt jeder Motorwagen auch eine elektrische Bremse. Eine sehr häufig angewendete Art der elektrischen Bremse ist die Kurzschlussbremse. Im allgemeinen kann nämlich jeder Motor auch als Dynamomaschine funktionieren. Wenn die Bremswirkung eintreten soll, werden die Motoren an Widerstände

geschaltet, in welchen der von ihnen erzeugte Strom in Wärme umgesetzt wird, schließlich werden die Motoren kurz geschlossen. Eine andere Konstruktionsart von elektrischen Bremsen sind die direkt wirkenden Bremsen. Eine solche Konstruktion rührt z. B. von der Firma Schuckert u. Comp. her. Hier sind die Bremsschuhe aus Eisen und in einem von einem Solenoid umgebenen Polgehäuse verschiebbar eingeschlossen. Zwei solcher Bremsschuhe stehen einander gegenüber und schließen zwischen sich eine Bremsscheibe ein.

Wird nun der Betriebsstrom in dem Momente, in welchem die Bremswirkung eintreten soll, durch die Solenoide geschickt, dann folgen die Bremsschuhe dem Kraftlinienflusse und pressen sich an die Bremsscheibe an. Schließlich kommen noch die sogenannten Wirbelstrombremsen[1]) in Verwendung. Dieselben sind nach folgendem Principe gebaut. Eine Reihe im Kreise angeordneter, am Wagengestelle fix montierter Elektromagnete werden vom Betriebsstrome erregt. Vor diesen Elektromagneten rotiert eine auf der Wagenachse montierte in der Längsrichtung verschiebbare Metallscheibe. In dieser Scheibe werden nun während des Rotierens Ströme induciert, welche die rotierende Bewegung der Scheibe und dadurch auch die rotierende Bewegung der Wagenachse zu hemmen suchen. Die Einrichtung ist nun so getroffen, dass mit, infolge der Bremsung, abnehmender Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe, diese Scheibe, etwa durch Einwirkung von zusammengehenden Schwunggewichten den Magneten genähert wird, wodurch die inducierende Wirkung der Magnete, welche infolge Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe sich vermindert hatte, wieder gesteigert wird. Schließlich wird die Scheibe vollständig an die Magnete angedrückt. Diese Bremsung bringt den Wagen vollständig zum Stillstande. Solche Bremsen rühren z. B. von der Union E. G. und von Déri her.

Eine gute mechanische Bremse, welche von Hand bedient werden kann, ist ein unbedingtes Erfordernis zur Feststellung eines Straßenbahnwagens in der Ruhe. Sobald sich der Wagen in Bewegung befindet, kann diese Bremse mit Vortheil durch die elektrische Kurzschlussbremse ersetzt werden. Für diesen Zweck genügen die Einrichtungen an den Schaltern, welche bereits für das Anfahren vorhanden sind. Es kann also auf diese Weise mit einfachen Mitteln eine zweite, von der mechanischen Bremse unabhängige Bremseinrichtung geschaffen werden. Außerdem ist es möglich, durch Benützung von Gegenstrom, der die Motoren entgegengesetzter Fahrrichtung anzutreiben sucht, im Noth-

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 857.

falle eine dritte unabhängige Bremsung zu erzielen. Die Kurzschlussbremse besitzt vor der mechanischen Bremse eine Reihe von Vortheilen. Es entfällt für den Wagenführer die körperliche Anstrengung, die beim Anziehen der mechanischen Bremse erforderlich ist. Infolge der häufigen Benutzung der mechanischen Bremse ermüdet der Wagenführer rasch. Die Kurzschlussbremse wirkt ohne Zeitverlust. Zur Bethätigung derselben genügt eine kurze, nicht anstrengende Bewegung des Schalthebels. Diese Bremse eignet sich daher besonders im Falle großer Gefahr. Für den gewöhnlichen Gebrauch kann die Bremswirkung bei richtiger Anordnung der Schaltstufen so sanft eingeleitet werden, dass eine Belästigung der Fahrgäste durch Stöße ausgeschlossen ist. Bei richtiger Wahl der Schaltstufen wird eine Überlastung oder Beschädigung der Motoren vermieden, so dass sich die Kurzschlussbremse für den gewöhnlichen Gebrauch eignet. Da letztere vollständig ausreicht, kommt in der Regel die Bremsung durch Gegenstrom nur selten in Thätigkeit, so dient als Reserve, um möglichst an Betriebsstrom zu sparen.

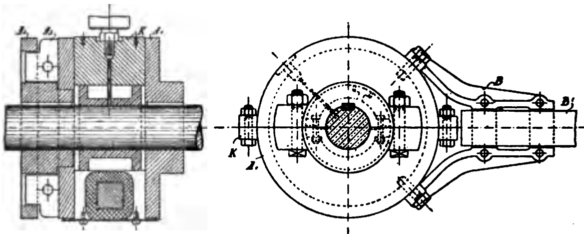


Fig. 113. Magnetische Bremse.

Zur elektrischen Bremsung derjenigen Achsen, welche nicht mit Motoren ausgerüstet sind (Achsen der Anhängewagen), werden magnetische Bremsen verwendet. Letztere gestatten gleichzeitig mit den Motorachsen die Laufachsen zu bremsen. Die magnetische Bremse von Siemens & Halske A.-G., Fig. 113 und 114, besteht aus dem Magnetkörper K, Fig. 113, und den Ankerscheiben A_1, A_2 und A_3. Der Magnetkörper K ist auf der Wagenachse gelagert. Die Drehung desselben verhindert jedoch der Arm B, B', der seinerseits am Wagenkasten oder Wagenuntergestell befestigt erscheint. Die Ankerscheibe A_1 ist mittelst einer Feder unverschiebbar auf die Wagenachse montiert. Die zweite Ankerscheibe, bestehend aus den Theilen A_2 und A_3, ist folgend angeordnet: A_2 sitzt ebenfalls fest auf der Achse, A_3 dagegen ist in der Richtung der Achse verschiebbar und wird bei der Drehung von A_2 mitgenommen.

Demnach rotieren die Ankerscheiben A_1 und A_3 mit der Achse und der auf der Achse gelagerte Magnetkörper K steht fest. Erregt man die Spulen des Magnetkörpers durch den bei Kurzschlussbremsung von den Motoren erzeugten Strom, so wird der Magnetkörper K an die Ankerscheibe A_1 und die Ankerscheibe A_3 an den Magnetkörper gezogen. Auf diese Weise erfolgt eine kräftige Bremswirkung. Die Ankerscheiben werden durch die Wirkung des Magnetismus an die Pole des Magnetkörpers angedrückt und bremsen infolge der auftretenden Reibung die Achse. Die bei dieser Bremsung verwendete Kuppelung besteht aus

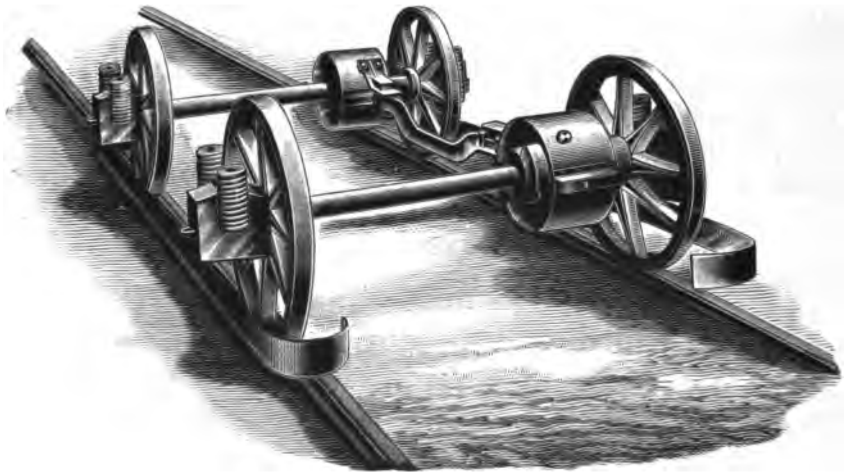


Fig. 114. **Magnetische Bremse.**

zwei am Motorwagen und am Anhängewagen befestigten Kuppelungsdosen und aus einem biegsamen Kuppelungskabel, dessen Enden mit je zwei Kontaktstöpseln versehen sind.

Diese Bremsung ist unter Anderem in Dresden zur Anwendung gekommen.

29. Stromvertheilung für elektrische Bahnen. Die Stromvertheilung bei den elektrischen Bahnnetzen bietet eine Reihe schwieriger Aufgaben. Das Netz besitzt gewöhnlich eine große Ausdehnung, die Belastung des Netzes ändert sich fortwährend und Belastungsänderungen finden an jeder einzelnen Stelle des Netzes beständig statt. Die Berechnung eines solchen Netzes kann daher nur unter gewissen Annahmen vorgenommen werden, und nur eine angenäherte sein, die umsomehr in ihrem Resultat den wirklichen Bedürfnissen entspricht, je besser und geschickter die Annahmen gewählt wurden.

Die Leitungsanlage besteht aus drei Theilen.

1. Aus den sogenannten Speiseleitungen. Diese, gewöhnlich isoliert in den Boden verlegten Leitungen haben den Zweck, das Bahnnetz an gewissen Punkten, den Speispunkten, mit Strom zu versorgen.

2. Die Kontaktleitung, von welcher der Wagen mittelst specieller Einrichtungen den Strom abnimmt. Diese Leitung ist eine oberirdische und als solche eine Luftleitung oder eine im Bahnniveau verlegte Kontaktschiene, oder schließlich eine in einem Schlitzkanal verlegte Leitung. Die Kontaktleitung wird gewöhnlich so eingerichtet, dass sie in unabhängig von einander gespeist werdende Leitungsabschnitte getheilt werden kann, was die Betriebssicherheit ungemein erhöht.

3. Die Rückleitung. Als Rückleitung dienen gewöhnlich die Schienen, manchmal in Verbindung mit an diesen angeschlossenen, isolierten Rückleitungen oder auch eine zweite Luftleitung.

Man unterscheidet im Wesentlichen drei Arten von Bahnanlagen.

1. Die einfache Linie, welche Linie gerade oder auch gekrümmt sein kann.

2. Die verzweigte Linie. Bei diesem Systeme zweigen von einer, das ganze Gebiet durchsetzenden geraden Hauptlinie zahlreiche Zweiglinien nach allen Richtungen hin ab.

3. Schließlich unterscheidet man noch ein drittes System, das Netzsystem, das, ideal gedacht, aus zwei auf einander senkrecht stehenden und sich schneidenden Scharen von parallelen Linien besteht. In der Praxis stehen die Scharen natürlich nicht immer auf einander senkrecht, ebenso verlaufen die Linien einer Schar nicht alle parallel.

Das Bahnnetz einer Stadt ist gewöhnlich eine Kombination dieser drei Systeme. Im inneren Theile der Stadt überwiegt das Netzsystem, weiter vom Centrum weg die verzweigte Linie und schließlich in den Vororten und den Umgebungen die einfache Linie. Die Centrale selbst verlegt man möglichst in den Belastungsschwerpunkt, weil man bei dieser Anordnung den geringsten Aufwand an Kupfermaterial nöthig hat. Oft ist es wegen der großen Kosten nicht möglich, die Centrale in die Stadt selbst zu verlegen, dann wird man am besten eine Wechselstromcentrale auf billigen Grundstücken außerhalb der Stadt errichten und den Strom unter hoher Spannung einer Umformerstation in der Stadt zuführen. In dieser Station wird der Wechselstrom zunächst mittelst ruhender Transformatoren auf eine niedere Spannung herabtransformiert und gewöhnlich mittelst rotierender Umformer in Gleichstrom verwandelt, da sich der Wechselstrom zum Bahnbetriebe, wie wir gesehen haben, nicht besonders gut eignet.

Die bei den Bahnnetzen auftretenden Belastungsschwankungen, die die Ursache davon sind, dass jede Berechnung nur eine annähernde sein kann, sind die folgenden:

1. Die augenblicklichen Schwankungen, welche durch den Verkehr hervorgerufen werden.

2. Die periodischen Schwankungen der Gesammtbelastung während eines Tages.

3. Die Schwankungen, welche durch das sogenannte Wandern der Belastung entstehen.

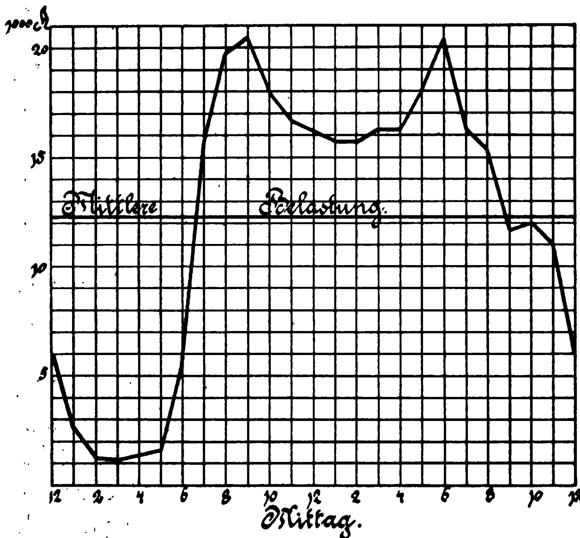


Fig. 115.
Belastungsdiagramm einer elektrischen Bahn.

Die augenblicklichen Schwankungen werden umso geringer sein, je mehr Wagen gleichzeitig auf der Strecke verkehren. Die täglichen Schwankungen können sehr beträchtlich sein und hängen wesentlich mit den Lebensgewohnheiten der Bevölkerung zusammen. In Fig. 115 ist das Belastungsdiagramm einer elektrischen Bahn [1]) für einen den Feiertagen unmittelbar vorangehenden Decembertag dargestellt. Wir ersehen aus dem Diagramm, dass die mittlere Belastung der Centrale wesentlich unterschritten und wesentlich überschritten wird. Das Wandern der Belastung besteht darin, dass sich zeitweilig an einzelnen Punkten des Netzes eine bedeutende Stromentnahme einstellt, welche oft gar nicht vorausgesehen wurde oder vorausgesehen werden konnte. Nehmen wir z. B. an, dass infolge einer Verkehrsstockung eine ganze Reihe von Wagen stillstehen musste. Die Stockung wird behoben und nun fahren sämmtliche Wagen an. Die Folge davon wird natürlich sein, dass an dieser Stelle ein großer Stromkonsum eintritt und infolge dessen eine starke Beanspruchung der diese Stelle speisenden Leitung und der Fahrleitung selbst.

---

[1]) Bell-Rasch, Elektrische Bahnen.

Systeme der Speisung des Bahnnetzes.

a) Systeme direkter Speisung.

Unter einer direkten Speisung versteht man eine solche, bei welcher der Strom dem Leitungsnetz direkt zugeführt wird, ohne Vermittlung einer Unterstation oder von Transformatoren. Bei der Verfassung des Planes eines Systemes direkter Speisung sind folgende Bedingungen zu erfüllen.

1. Die Spannung im Bahnnetz darf an keiner Stelle und unter keinen Umständen eine gewisse Grenze unterschreiten.

2. Der mittlere Arbeitsverlust in der ganzen Anlage darf einen im voraus festgesetzten Wert nicht überschreiten.

3. Die Speiseleitungen müssen so angeordnet werden, dass der Betrieb durch eventuelle Störungen an einzelnen Punkten der Arbeitsleitung keine völlige Unterbrechung erfährt.

Mit Berücksichtigung aller dieser Bedingungen haben sich folgende Systeme eingebürgert:

α) Das Leitersystem.

Dasselbe ist in Fig. 116 dargestellt. *D* bedeutet die Dynamomaschine in der Centrale. Mit einem Pole ist diese Maschine an die Schiene *E* angeschlossen, mit dem anderen Pole liegt sie an der Speiseleitung *AB*, die parallel zur Kontaktleitung *CD* verlegt ist. Die Speisung der Kon-

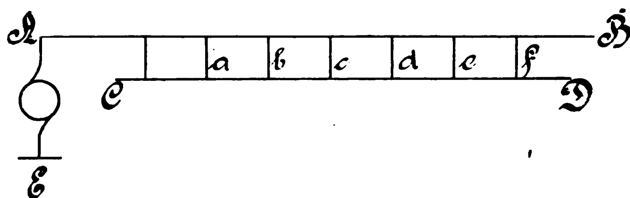


Fig. 116. Leitersystem.

taktleitung *CD* erfolgt von seiten der Speiseleitung *AB* mittelst der in Abständen von einigen hundert Metern angeordneten kurzen Leitungen *a*, *b*, *c*, etc. Bei diesem Systeme kann der Kontaktdraht schwach gewählt werden, nachdem jeder Theil der Kontaktleitung bloß den Strom zu führen braucht, der gerade in diesem Theile verbraucht wird. Außerdem erhält jeder Theil der Kontaktleitung von zwei Seiten Strom. Eine Abänderung dieses Systems ist in der Fig. 117 dargestellt. Die Kontaktleitung ist durch isolierende Muffen in Abschnitte von annähernd gleicher Länge getheilt. Jeder dieser Theile besitzt seine eigene Quer-

verbindung mit der Speiseleitung *AB*. Dieses System hat den Vortheil, dass man nöthigenfalls einzelne Theile des Bahnnetzes vollständig aus dem Verkehre abschalten kann, ohne dass im übrigen Theile der Bahnanlage der Verkehr unterbrochen werden muss. Eine dritte Art der Anordnung der Speiseleitungen zeigt die Fig. 118. Die Speiseleitungen sind unabhängig von einander verlegt und münden in den Punkten *a*, *b*, *c*, etc. in die Kontaktleitung. Auch bei dieser Anordnung empfängt jede Stelle der Kontaktleitung von zwei Seiten Strom. Die Abtheilungen *a*, *b*, *c* u. s. f. werden hier größer gemacht als bei den vorhergehenden Systemen u. zw. 1—2 *km*, da sonst die Anzahl der nothwendigen Speise-

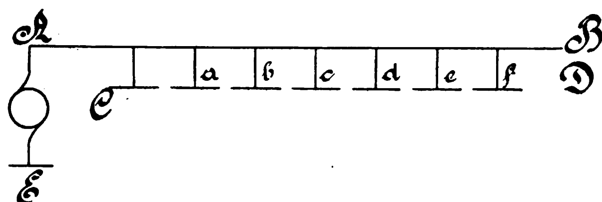


Fig. 117. Leitersystem mit untertheilter Kontaktleitung.

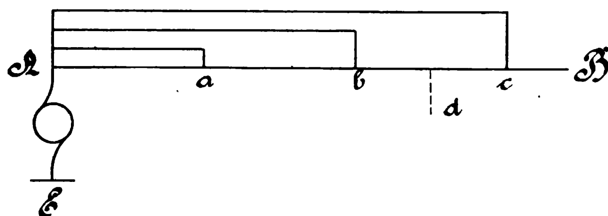


Fig. 118. Leitersystem mit voneinander unabhängigen Speiseleitungen.

punkte eine zu große sein würde. Ein besonderer Vortheil dieses Systemes ist die Möglichkeit, die Speisung der einzelnen Theile des Netzes besser dem an denselben herrschenden Bedarf anzupassen. Schwieriger ist es natürlich bei diesem Systeme einzelne Theile der Kontaktleitung abzuschalten. Eine Abänderung dieses Systemes zeigt die Fig. 119. Der Nachtheil dieser Anordnung besteht darin, dass jeder Theil in Bezug auf Stromversorgung von seiner Speiseleitung abhängt, was speciell bei vorkommenden Überlastungen nachtheilig sein kann. Bei diesem Systeme können die einzelnen Strecken *a*, *b*, *c* etc. leicht abgeschaltet werden. Oft werden einzelne Speisekabeln untereinander verbunden, wie es in der Figur bei *d* angedeutet ist. Diese Anordnung ist besonders vortheilhaft bei vorkommenden stärkeren Belastungen der Theilstrecken, deren Speisekabeln verbunden worden sind.

Ein System, welches die Vortheile aller bis jetzt besprochenen Systeme größtentheils in sich schließt, ist das folgende in Fig. 120 dargestellte. Die Kontaktleitung ist in verschieden lange Theile zerlegt; diese Theile sind dort kürzer, wo Betriebsstörungen zu befürchten sind.

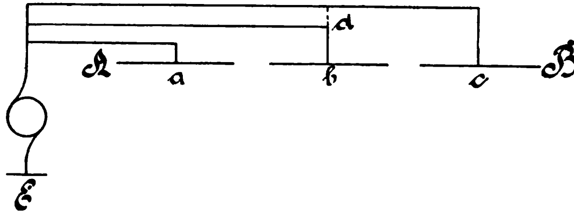


Fig. 119. Leitersystem mit voneinander unabhängigen Speiseleitungen und untertheilter Kontaktleitung.

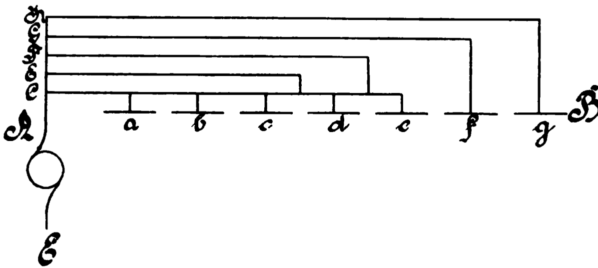


Fig. 120. Leitersystem mit mehreren Speiseleitungen und untertheilter Kontaktleitung.

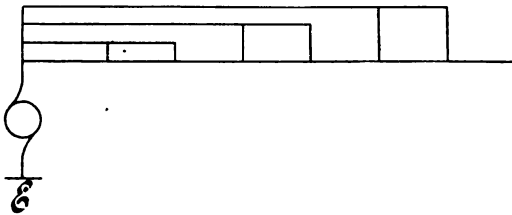


Fig. 121. Leitersystem mit mehreren Speiseleitungen.

C, *E*, *F*, *G* und *H* sind Speiseleitungen, welche alle Arten von Anschlüssen und Verbindungen zeigen, die wir bei den früheren Systemen besprochen haben. Solche komplicierte Systeme sind gewöhnlich nicht das Resultat einer Berechnung, sondern das Ergebnis von Erfahrungen, die man nach Eröffnung des Betriebes an der Bahnanlage gemacht hat.

Das moderne Bestreben geht dahin, die Kontaktleitungen nicht mehr getrennt aber leicht trennbar anzulegen. Eine Anordnung, die getroffen werden kann, wenn die Bahn keine größere Länge als höchstens 20 *km* hat, ist in der Fig. 121 veranschaulicht. Die Kontaktleitung ist eine zusammenhängende Leitung. Die Speisepunkte der Kontaktleitung haben eine Entfernung von einander, die $1^1/_2$—$2^1/_2$ *km* beträgt.

b) Besondere Methoden der Stromvertheilung bei elektrischen Bahnen.

Bei jeder elektrischen Leitung geht ein gewisser Theil der in sie geschickten Energie verloren, durch welchen Verlust auch eine Spannungs-

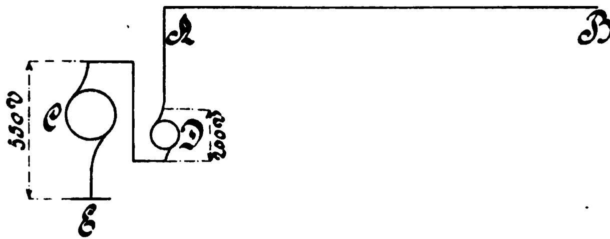


Fig. 122. Zusatzdynamo in der Centrale.

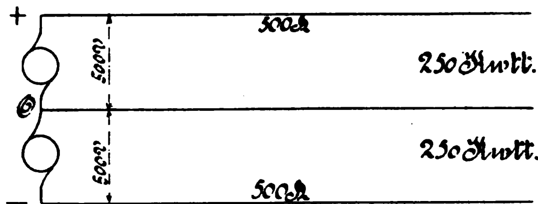


Fig. 123. Dreileitersystem.

erniedrigung eintritt. Man trifft darum bei elektrischen Bahnen die Anordnung oft auch so, dass man mit der Betriebsdynamo *C*, Fig. 122, eine Zusatzdynamo *D* verbindet, welche die von der Betriebsdynamo erzeugte Betriebsspannung von 550 Volt fast um so viel erhöht, als der Spannungsverlust in der ganzen Leitung beträgt. Man erreicht dadurch, dass man weniger Kupfer für die Leitung braucht, und trotzdem die Spannung im Punkte *B* nicht wesentlich gegenüber der gewünschten Betriebsspannung von 550 Volt sinkt. Diese Zusatzmaschine muss natürlich imstande sein, den ganzen Betriebsstrom aufnehmen zu können.

Ein weiteres System zeigt die Fig. 123. Es ist das Edison'sche Dreileitersystem. In der Centrale sind zwei Dynamomaschinen

hintereinander geschaltet, jede erzeugt eine Spannung von 500 Volt. Der gemeinsame Pol der beiden Maschinen liegt an den Schienen. Die Wagenmotoren sind zwischen je einem Außenleiter und den Schienen geschaltet, liegen also an 500 Volt. Die Außenleiter, die bei gleicher Belastung der beiden Zweige allein stromführend sind, die Schienen leiten bekanntlich bloß die Differenz der in beiden Netzhälften verbrauchten Ströme, weisen einen Spannungsunterschied von 1000 Volt auf und sind auch für diese Spannung zu berechnen. Die Ersparnis an Leitungskupfer gegenüber dem Zweileitersystem beträgt 20—40%. Es

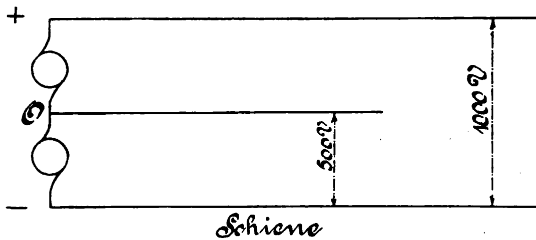


Fig. 124. Dreileitersystem.

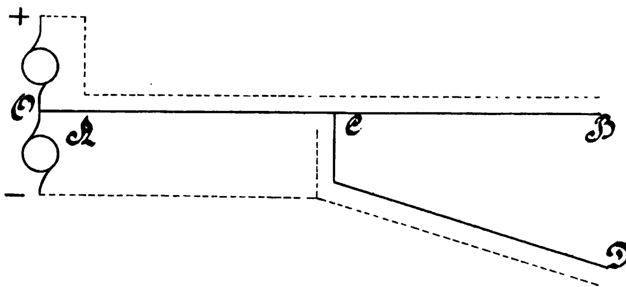


Fig. 125. Dreileitersystem bei einer eingleisigen Bahn.

ist klar, dass bei diesem System, eben wegen der großen Spannung zwischen den Außenleitern, wesentlich an Kupfer gespart werden muss.

Eine andere Art eines Dreileitersystemes zeigt die Fig. 124. Hier liegt der gemeinsame Pol der Dynamomaschinen an einem Außenleiter, der positive Pol am zweiten Außenleiter und der negative Pol an den Schienen. Bei dieser Schaltung können die Bahnmotoren sowohl mit 500 Volt als auch mit 1000 Volt betrieben werden. Diese Anordnung kann zwar nicht allgemein getroffen werden, aber speciell beim Fernverkehr kann sie von großem Nutzen sein; nur erfordert dieses System eine besondere Schaltungsweise der Motoren. Bei einem Dreileitersystem

muss man die Einrichtung womöglich so treffen, dass die beiden Netzhälften gleich stark belastet sind. Um das zu erreichen, wendet man folgende Schaltungssysteme an. Die Fig. 125 zeigt eine sehr einfache Anordnung. Die Bahn ist eingleisig. Die Speisung wird so eingerichtet, dass womöglich gleich stark belastete Strecken je von einem Außenleiter gespeist werden.

Eine andere bessere Anordnung bei eingleisigen Bahnen zeigt Fig. 126. Hier ist die Kontaktleitung in von einander isolierte Abschnitte getheilt, welche abwechselnd vom positiven und negativen Außenleiter der Centrale gespeist werden.

Ist die Bahn zweigleisig, dann schließt man den Fahrdraht der einen Fahrrichtung an den einen Pol, den Fahrdraht der anderen Richtung an den zweiten Pol der Centrale. Es ist selbstverständlich, dass man auch hier eine Theilung der Kontaktleitung vornehmen und eine ähnliche Anordnung treffen kann, wie die in Fig. 126 dargestellte. Die Länge solcher Abschnitte schwankt zwischen 200 und 1000 *m*, was sich

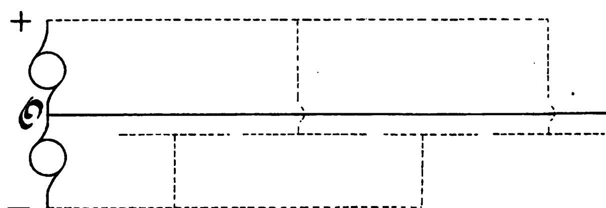


Fig. 126. Dreileitersystem bei einer eingleisigen Bahn.

nach den örtlichen Betriebsverhältnissen richtet. Zu viele Untertheilungen sind unvortheilhaft, weil natürlich an jeder Stelle, an der die Leitung durch die Isoliermuffe unterbrochen ist, beim Vorbeigang des Schleifbügels ein Funke auftritt. Ein Ausgleich der Belastung der beiden Netzhälften ist nicht schwer herzustellen, doch wird derselbe illusorisch, wenn das schon besprochene „Wandern der Belastung" eintritt. Das ist auch der Grund, warum das Dreileitersystem in der Praxis relativ selten angewendet wird.

Ein Dreileitersystem könnte auch folgendermaßen eingerichtet werden. Die beiden Außenleiter sind als Kontaktleitungen längs der Bahn geführt, die Schienen dienen als Rückleitung. Der Motorwagen besitzt zwei hintereinander geschaltete Motoren. Der Betriebsstrom wird mittelst zweier Stromabnehmer den Kontaktleitungen entnommen und den Motoren zugeführt. Der neutrale Punkt der hintereinander geschalteten Motoren ist mit dem Radgestelle und dadurch mit den Schienen

verbunden. Der Mittelleiter hat bei diesem Systeme nur dann Strom zu führen, wenn entweder ein Motor ganz ausgeschaltet wird, oder ein Motor stärker belastet ist als der andere.

Am vortheilhaftesten erweist sich bei der Ausführung von Bahnanlagen eine Erhöhung der Betriebsspannung, da ja mit derselben eine Ersparnis an Leitungskupfer verbunden ist. Die jetzt gebräuchliche Betriebsspannung beträgt 500 Volt. Würde man mit der Spannung auf 750 Volt hinaufgehen, dann wären nur wenige Änderungen an den schon bestehenden Bahnmotoren vorzunehmen. Leicht könnte man mit einer Betriebsspannung von 1000 Volt arbeiten, wenn man die auf dem Wagen befindlichen zwei Bahnmotoren dauernd in Serienschaltung ließe. Bei dieser Schaltung kämen auf einen Motor von der Betriebsspannung 500 Volt. Allerdings müsste jeder Motor so konstruiert werden, dass er leicht eine größere Spannung auszuhalten vermag, denn leicht kann der Fall eintreten, dass die Spannung, mit der er arbeitet, eine größere als die gewöhnliche ist. Das tritt z. B. dann ein, wenn ein Motor wegen Gleitens der Achse, auf welcher derselbe montiert ist, keine Arbeit leistet, so dass der zweite Motor die ganze Arbeit unter der vollen Betriebsspannung leisten muss. Ganz dasselbe tritt auch ein, wenn ein Motor wegen Kurzschlusses betriebsunfähig wird. Bei Verwendung einer so hohen Betriebsspannung müssten natürlich die Sicherheitsvorkehrungen erhöht werden.

30. Die Unterstationen. Wenn das Bahnnetz eine beträchtliche Länge hat, dann ist die direkte Speisung dieses Netzes von einer Centrale aus unwirtschaftlich, und man verwendet in diesem Falle bei der Speisung Unterstationen. Man unterscheidet drei Arten von Betrieben mit Unterstationen.

1. Man legt an verschiedenen Punkten der Bahnanlage Hilfsstationen an, welche die Aufgabe haben, die weiter von der Centralstation liegenden Theile des Bahnnetzes mit Strom zu versorgen. Diese Anordnung findet sich besonders bei großen Stadtbahnnetzen, die allmählich erweitert wurden. Die einzelnen Theile des Netzes, welche von den verschiedenen Stationen gespeist werden, stehen so untereinander in Verbindung, dass im Falle eine Station betriebsunfähig wird, die anderen Stationen den Betrieb in wirtschaftlicher Weise aufrecht erhalten können. Es ist nun durchaus nicht nothwendig, dass eine Station als Hauptstation ausgebildet wird, das heißt, dass sie größere Maschineneinheiten erhält als jede der anderen Stationen, im Gegentheil ist es sogar im Allgemeinen vortheilhafter, wenn die Stationen gleich groß sind und nahezu gleich große Gebiete mit Strom versorgen.

2. Man vertheilt längs der ganzen Linie oder des ganzen Netzes Stationen, man nennt sie auch vertheilte Stationen, welche aber bloß aufeinanderfolgende Abschnitte der Bahnanlage, unabhängig von einander, mit Strom zu versorgen haben. Diese Art von Betrieb findet sich meistens beim interurbanen Verkehr vor, der lange Linien benöthigt. Die Bahnanlage kann natürlich leicht vergrößert werden, man muss nur die Zahl der Centralstationen vermehren.

3. Diese Gruppe umfasst die wirklichen Unterstationen. Diese haben die Aufgabe, kleinere Theile des Netzes mit Strom zu versorgen. Dieser Strom wird nun mittelst Fernleitungen von einer Centralstation der Unterstation zugeführt und dortselbst bloß in eine andere Form umgewandelt. Nachdem man gewöhnlich zum Bahnbetrieb Gleichstrom verwendet, ist man genöthigt zur Umwandlung des zugeführten Stromes, es ist das gewöhnlich hochgespannter Wechsel- oder Drehstrom, zunächst denselben auf eine niedere Spannung mittelst ruhender Transformatoren herabzutransformieren, und sodann mittelst rotierender Umformer, oder der sogenannten Motorgeneratoren, in Gleichstrom der gewünschten Spannung zu verwandeln. Wenn einmal die Wechselstrommotoren soweit vervollkommnet sein werden, dass es möglich sein wird, dieselben beim Bahnbetrieb in einfacher Weise zu gebrauchen, dann werden die rotierenden Umformer entfallen, und es wird dann lediglich eine Spannungserniedrigung mittelst ruhender Transformatoren vorzunehmen sein. Oft findet man als Unterstation eine Akkumulatorenstation, deren Batterie von der Centralstation aus geladen wird. Es ist jedoch eine Umformerstation mit rotierendem Umformer vorzuziehen, da derselbe einerseits nur die Hälfte der nothwendigen Batterie kostet, andererseits der Wirkungsgrad einer Akkumulatorenbatterie unter allen Umständen kleiner ist als der eines rotierenden Umformers. Der Vortheil, der bei der Verwendung von Akkumulatorenbatterien erreicht wird, ist der, dass dieselben beruhigend auf die Belastung der Centralstation einwirken. Dabei ist jedoch andererseits auch zu bedenken, dass bei großen Bahnnetzen die Belastung eine weit gleichmäßigere ist, als gewöhnlich angenommen wird. Die elektrische Energie wird den Unterstationen als Gleichstrom oder als Wechselstrom zugeführt.

Der Gleichstrom wird von der Centrale mit einer Spannung von gewöhnlich 550 Volt, oder beim Dreileitersysteme mit 1000 Volt zwischen den Außenleitern erzeugt und dem Netze zugeführt. Erzeugt man aber in der Centralstation Wechselstrom, dann erhält derselbe beim Verlassen der Centralstation eine Spannung von gewöhnlich 4000—5000 Volt, aber es kommen auch Spannungen von 10000 Volt und darüber vor.

Die Wechselstrommaschinen liefern gewöhnlich Strom von 500

oder 1000 Volt Spannung. Dieser Strom wird, bevor er an das Netz geschaltet wird, mittelst Transformatoren auf die hohe Leitungsspannung gebracht. In neuerer Zeit ist man bestrebt, bei Verwendung einer Spannung bis 5000 Volt, Generatoren zu verwenden, welche diese Spannung direkt liefern, so dass man die Transformatoren völlig erspart. Solche Generatoren bieten bei ihrer Ausführung natürlich bedeutende Schwierigkeiten, besonders was die Isolation des Ankers anbelangt. Die Armatur steht bei solchen Maschinen in der Regel fest. In den Unterstationen wird die hohe Spannung auf die gewünschte niedere Spannung herabtransformiert und mittelst rotierender Umformer in Gleichstrom verwandelt. Eine Art der Umformung besteht darin, dass Wechselstrommotoren unter Vermittlung von Riemen Gleichstromdynamos antreiben.

Eine weit bessere Methode ist die, die Wechselstrommaschine und die Gleichstrommaschine mit gemeinsamer Welle auszustatten, eine solche Kombination hat oft den Wirkungsgrad von 88%. Manchmal sind die beiden Anker der Maschine in einen zusammengezogen, doch ist diese Anordnung nicht besonders vortheilhaft. Schließlich kann auch jede Gleichstrommaschine als Wechselstrom-Gleichstromtransformator dienen, man braucht ihr nur Wechselstrom, und zwar meist mehrphasigen Wechselstrom, mittelst Schleifringen, welche mit Kollektorlamellen verbunden sind, die gleich weit von einander abstehen, zuzuführen. Vom Kollektor kann dann mittelst Bürsten Gleichstrom abgenommen werden.

31. Kraftstationen. Man unterscheidet Kraftstationen mit reinem Maschinenbetrieb und Kraftstationen mit einer Pufferbatterie.

1. Kraftstationen mit reinem Maschinenbetrieb, Fig. 127. Je nach der Größe der Bahnanlage besteht die Kraftstation aus zwei oder mehreren Maschinensätzen. Jeder Maschinensatz umfasst eine Dampfmaschine und eine Dynamo. Die Betriebsspannnng beträgt zumeist 500 Volt. Der Strom fließt aus den Dynamomaschinen D_{I} und D_{II} durch die Sicherungen *B S*, *B S*, *B S*, *B S* und Stromrichtungszeiger *St R*, *St R* bzw. Schalter *S*, *S*, *S*, *S* auf die zwei untersten Schienen des Schaltbrettes, von hier durch den Hauptzähler *Z* in die Speiseleitungen *Sp L*, *Sp L*. In den Speiseleitungen (bei kleinen Anlagen in den direkten Fahrdraht anschließen) liegen je eine Bleisicherung *B S*, ein Stromzeiger *A*, ein Maximalausschalter *S* max. und eine Induktionspule *I*. Letztere verhindert Blitzschläge in den Stationen. Durch die Blitzableiter *Bl*, *Bl* wird der Blitz zur Erde *E* abgeleitet. Der Erdschlussprüfer *EP* verbindet jede Hauptleitung mit der Erde, so dass man sich mit Hilfe des Umschalters *U* von der Güte der Isolation der Fahrdrähte überzeugen kann. Die Dynamomaschinen sind an beiden Polen durch

die Schalter *S*, *S*, *S*, *S* ausschaltbar und an den beiden Polen durch die Bleisicherungen *B S*, *B S*, *B S*, *B S* gesichert. Die Stromrichtungszeiger *St R*, *St R* haben den Zweck, ein Aufeinanderarbeiten der Dynamomaschinen anzuzeigen. Letzteres kann beim Versagen einer Dynamo deshalb leicht eintreten, weil die Maschinen parallel geschaltet sind. Befindet sich in einem Pole jeder Dynamo ein Minimalausschalter, so erscheint der Strom-

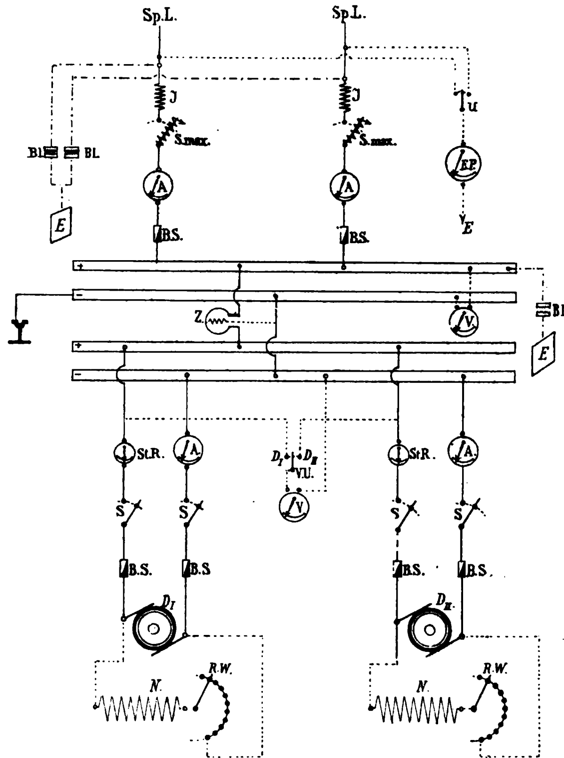


Fig. 127. Kraftstation einer Bahnanlage.

richtungszeiger entbehrlich. Die Nebenschluss-Regulierwiderstände *N N* dienen zur Regulierung der Maschinenspannung. Aus der Fig. 127 ersieht man schließlich, dass die positive Schiene mit der Laufschiene beziehungsweise Erde verbunden ist. In größeren Anlagen oder bei getrennter Betriebsführung erhält jede Speiseleitung einen eigenen Zähler.

2. Kraftstationen mit einer Pufferbatterie, Fig. 128. Kommen bei einer Bahn starke Stromstöße vor, dann ist eine Pufferbatterie unvermeidlich. Starke Stromstöße bedingen: Geringe Zugfolge, nur ein Gleise, starke Steigungen. In dem Schema Fig. 128 sind außer

den Einrichtungsstücken der Fig. 127 noch jene enthalten, welche für die Hinzuschaltung des Sammlers (Akkumulators) erforderlich sind. Die Pufferbatterie liegt parallel zu den Dynamomaschinen. Diese Schaltung ersieht man sofort aus Fig. 129. Von Zeit zu Zeit ist eine Vollaufladung des Sammlers erforderlich. Dieselbe erfolgt entweder mit Zuhilfenahme einer Zusatzdynamo, deren Spannung sich mit der Netz-

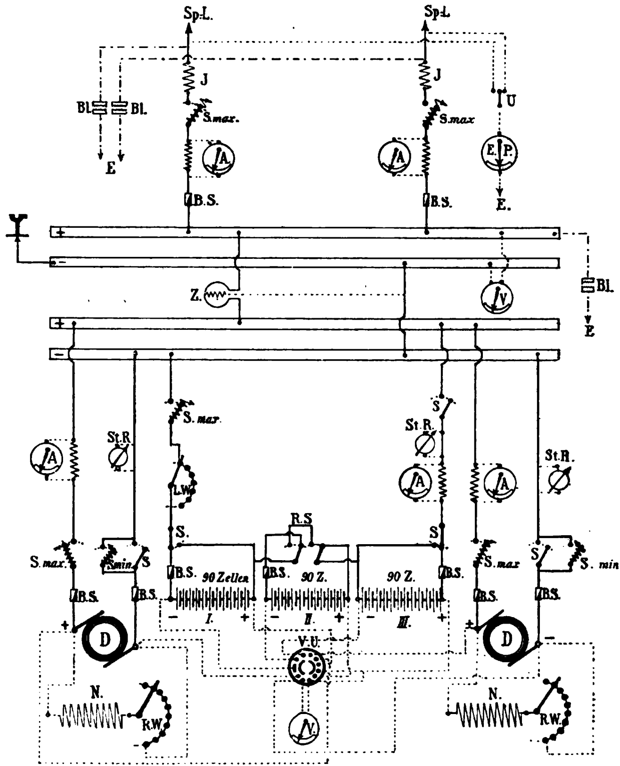


Fig. 128. Kraftstation mit einer Pufferbatterie.

spannung addiert, oder durch das Aufladen der Zellen in parallelen Reihen. Nur in dem ersteren Falle finden Zellenschalter Verwendung. Bei 500 Volt Betriebsspannung genügen 270 Zellen. In der Fig. 128 besitzt der Sammlerstromkreis folgende Einrichtungen: Doppelpolige Bleisicherungen, Schalter zum Laden der Batterie in drei Reihen, einen Stromzeiger, einen Stromrichtungszeiger, einen Ladewiderstand und einen Maximalausschalter. Letzterer verhindert zu starke Entladungen. Die Aufladung des Sammlers erfolgt in drei Reihen, so dass abwechselnd

die Gruppen I und II, dann I und III und schließlich II und III durch Umschaltungen zeitweise geladen werden. Der veränderliche Ladewiderstand bezweckt die Einstellung der zulässigen Maximalstromstärke beim Beginn der Ladung, wenn der Widerstand in der Nebenschlusswickelung der Dynamo unzureichend ist. Der Minimalausschalter *S* min. befindet sich im Maschinenstromkreise parallel zum Hauptausschalter, um Rückstrom aus dem Sammler in die Dynamo zu verhindern. Der Minimalausschalter ist nur beim Laden eingeschaltet, sonst ist der Hauptausschalter geschlossen. Der Spannungszeiger *V* ermöglicht durch den Umschalter *V U* die Messung der Spannung der einzelnen Reihen des ganzen Sammlers und der einzelnen Maschinen. Jede Zelle zeigt nach dem Aufladen rund 2·75 Volt.

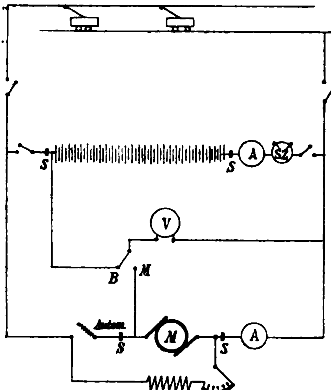


Fig. 129. Schaltungsschema einer Kraftstation mit einer Pufferbatterie.

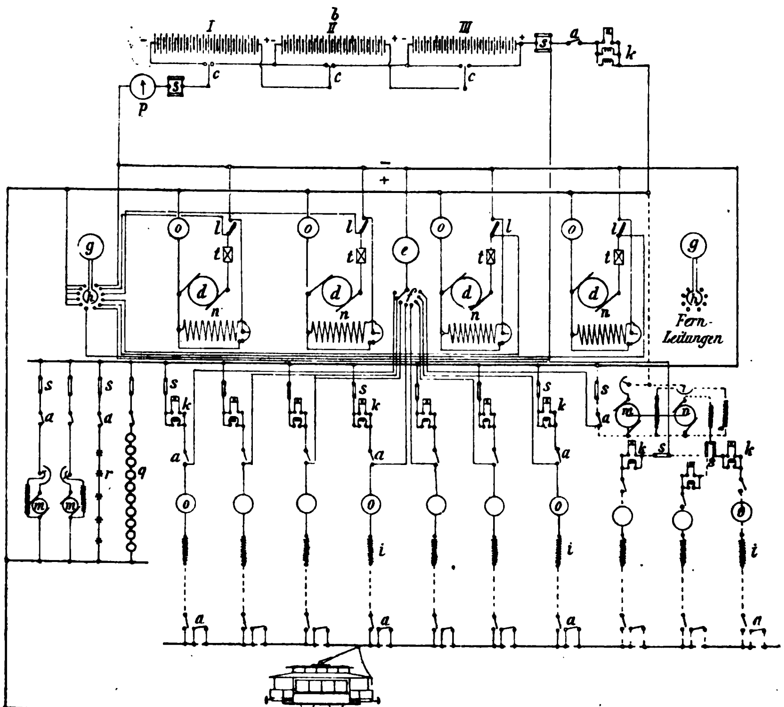


Fig. 130. Schaltplan einer Bahnanlage.

Fig. 130 veranschaulicht den Schaltplan einer Bahnanlage der Aktien-Gesellschaft Elektricitätswerke vorm. O.-L. Kummer & Co., Dresden-Niedersedlitz.

Die Station umfasst vier Maschinensätze und eine Pufferbatterie. Die Aufladung der Batterie in drei Reihen erfolgt vermittelst einer andern Schaltverbindung als in Fig. 128. Damit der Spannungsabfall in der Leitung bei unmittelbarer Speisung von der Station aus durch den Fahrdraht 10% nicht übersteigt, ist folgende Einrichtung getroffen: Das Arbeiten von zwei Stationen aus, die Verlegung theurer Speiseleitungen oder bei schwachem Verkehre die Erhöhung der Spannung durch eine Zusatzdynamo.

Die letztere Einrichtung versinnlicht Fig. 130. Ein Motor *m* und eine Dynamo *n* sind direkt gekuppelt. Die Nebenschlusswickelungen von Motor und Dynamo werden gemeinsam reguliert. Um hohe Spannungen einzustellen, schwächt man den Nebenschluss des Motors durch Einschalten von Widerständen (Rechtsdrehen des Hebels), erreicht so eine hohe Umlaufszahl desselben und verstärkt zugleich durch das Ausschalten von Widerständen die Erregung der Dynamo. Die Schaltung und Anordnung der Apparate veranschaulicht Fig. 130.

32. Die Schienenrückleitung. Die mit dem Betriebe elektrischer Bahnen nothwendig werdende Führung von Starkstromleitungen durch städtische Gebiete ist mit manchen Nachtheilen verbunden. Die Starkströme verursachen störende Einwirkungen auf benachbarte Schwachstromleitungen, wie Telegraphen- und Telephonleitungen. In der Nähe der Bahn befindliche physikalische Apparate zu elektrischen oder magnetischen Messungen dienend, werden empfindlich in ihrer Genauigkeit gestört. Es wurden mannigfache Methoden vorgeschlagen, um speciell diese Art der schädlichen Wirkung der Bahnströme zu vermeiden. Eine sehr einfache Methode besteht darin, die Fernwirkung des Stromes dadurch zu hindern, dass man die Oberleitung zweipolig ausführt. Da in dem einen Draht der Oberleitung die Ströme in der einen Richtung, im andern Draht der Oberleitung in der entgegengesetzten Richtung fließen, heben sich die elektrischen Fernwirkungen dieser beiden Ströme auf. Eine andere Gruppe von Schutzmaßregeln bezieht sich auf die Sicherung der Apparate vor den Einwirkungen der Bahnströme. Diese eben besprochenen schädlichen Wirkungen der Bahnströme werden noch gesteigert und durch schädliche Wirkungen anderer Art vermehrt infolge der bei elektrischen Bahnen üblichen Stromrückleitung durch die Schienen. Es treten nämlich im ganzen Verlaufe der Rückleitung Theilströme aus den Schienen in die Erde über, auch dann, wenn die Kontakte

zwischen den Schienen noch so gut gemacht sind; bei guter Installation soll der elektrische Widerstand eines Schienenstoßes höchstens 0·2 des Widerstandes einer Schiene betragen. Diese in die Erde tretenden Ströme breiten sich in ganz unberechenbaren Bahnen im Erdreich aus und heißen darum auch vagabundierende Ströme. Die vagabundierenden Ströme üben eine zerstörende Wirkung auf die im Erdreich verlegten Gas- und Wasserleitungsröhren sowie Kabel aus und üben störende Wirkungen auf in weiter Entfernung aufgestellte elektrische und magnetische Apparate dadurch aus, dass sie in beliebigen Bahnen, in oft von der Bahnlinie weitabliegenden Gebieten sich ihren Weg suchen. Viele physikalische Institute wurden schon durch die vagabundierenden Ströme in ihrer Thätigkeit sehr beschränkt oder mussten ihre Thätigkeit theilweise einstellen. So können z. B. in der Wiener Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus die so wichtigen erdmagnetischen Beobachtungen nicht mehr fortgesetzt werden, weil sich die störenden Wirkungen des Wiener elektrischen Straßenbahnnetzes zu sehr geltend machen. Die zerstörenden Wirkungen dieser Erdströme auf die in der Erde verlegten Metallmassen sind elektrolytischer Natur. Es treten nämlich an gewissen Stellen die vagabundierenden Ströme von den Schienen kommend in die Metallmassen ein, an anderen Stellen, an welchen das Potentialgefälle zwischen Metallmasse und Schiene ein umgekehrtes ist, treten diese Ströme aus dem Rohre oder Kabel wieder heraus und fließen durch die Erde wieder der Schiene zu. Diese Austrittsstellen der Ströme sind nun die Stellen, welche der elektrolytischen Zerstörung ausgesetzt sind. Es wurden mannigfache Vorschläge gemacht, diese Wirkung der vagabundierenden Ströme einzudämmen. Die Methoden der einen Art wollen verhindern, dass die vagabundierenden Ströme in die Rohrleitung eintreten können, oder wenn sie schon eintreten, eine größere Ausbildung erringen. Hieher gehört der Vorschlag, die Schienen an vielen Punkten mit dem Grundwasser durch Erdplatten leitend zu verbinden, ferner die Vorschläge, die Rohre mit alten Rohren als Schutzmantel zu umgeben, sie mit einem isolierenden Anstrich zu versehen, oder auch ihre Leitungsfähigkeit dadurch herabzumindern, dass man die Rohrstränge durch isolierende Zwischenstücke oder isolierende Verbindungen untertheilt. Alle diese Methoden haben keine wesentlichen Erfolge aufzuweisen. Eine Art von Vorschlägen geht darauf hinaus, den vagabundierenden Strömen den Eintritt in die Rohrleitung zu gestatten, sie aber zu hindern, dieselbe auf einem elektrolytisch leitenden Wege wieder zu verlassen. Zu diesem Zwecke verbindet man die Schiene und das in der Erde verlegte Rohrnetz in der Nähe der Centrale durch eine Akkumulatorenbatterie so, dass der positive Pol der Batterie an der Schiene und der negative Pol

an das Rohrnetz angeschlossen wird. Die Schiene ist also ständig in Bezug auf die Rohrleitung positiv elektrisch und der Strom kann also zwischen Schiene und Rohrleitung nur in der Richtung Schiene—Rohrleitung fließen. Der Austritt des Stromes aus der Rohrleitung findet durch die Drahtverbindung mit der Akkumulatorenbatterie statt. Wie die Erfahrung aber gezeigt hat, kann es nicht vermieden werden, dass trotzdem auch an andern Stellen die Ströme die Rohrleitung verlassen, so dass diese Methode sich als vollständig unbrauchbar erwiesen hat. Eine dritte Gruppe von Vorschlägen geht dahin, die Entstehung der vagabundierenden Ströme zu verhindern etwa dadurch, dass man die Schienen isoliert verlegt und die Spannung zwischen Schiene und Erde so verringert, dass überhaupt kein Strom aus den Schienen in die Erde übertreten kann. Das vollständige Isolieren der Schiene gegen Erde ist bis heute eine nur unter Aufwendung bedeutender Mittel auszuführende Sache. Zur Verringerung der Schienenspannung, das heißt des Spannungsunterschiedes zwischen zwei Stellen der Schienen, wird so bewerkstelligt, dass an gewissen Punkten der Schienenleitung isolierte Kabel angeschlossen sind, die zum zweiten Pol der Dynamo in der Centrale führen, doch auch diese Methode hat sich nicht bewährt. Die modernste Art solcher Schienenentlastungen ist die mit Hilfe der Anordnung eines Dreileitersystems. Denken wir uns eine Centrale mit einer Gleichstrombetriebsdynamo. Paralell zur Dynamo ist eine Akkumulatorenbatterie geschaltet. Der gemeinsame positive Pol von Dynamo und Batterie wird an die Oberleitung gelegt, vom negativen Pol geht eine Speiseleitung an die Schienen nach dem entferntesten Punkt der Bahnanlage. Zwischen dem positiven und den negativen Pol der Akkumulatorenbatterie findet eine Untertheilung derselben durch den Hebel eines Zellenschalters statt. Dieser Hebel wird nun an die Schiene bei der Centrale angeschlossen. Die Oberleitung, die Schiene und das Speiskabel bilden die drei Leiter des Systems. Die Schiene hat die Function des Nullleiters eines Dreileitersystemes. Je nach der Belastung und Belastungsvertheilung im Bahnnetz muss eine Regulierung am Zellenschalter von Hand aus erfolgen. Man kann dieses System nach Kapp in folgender Weise ausführen, und hat dann den Vortheil der Selbstregulierung. Die Untertheilung der Betriebsspannung in der Centrale wird dadurch hervorgebracht, dass man neben der Betriebsdynamo noch eine Zusatzdynamo verwendet, welche mit der Betriebsdynamo in Serie geschaltet ist. Der positive Pol der Betriebsdynamo wird an die Oberleitung, der negative Pol derselben an das vorhin erwähnte Speisekabel gelegt, und der gemeinsame Pol der beiden Dynamomaschienen wird, wie früher der Zellenschalterhebel an die Schiene angeschlossen. Die Selbstregulierung des Systems wird dadurch

erreicht, dass die Erregerwicklung der Zusatzdynamo im Stromkreise der Oberleitung liegt, also vom jeweiligen Konsumstrome gespeist wird.

33. Schienenstoßverbindung Patent Falk.[1]) Die folgenden Bedingungen stellen an den Straßenbahn-Oberbau ganz außerodentliche Ansprüche:

1. Die außerordentliche Steigerung des Verkehres in den letzten Jahren.
2. Die Einführung größerer und schwererer Personenwagen und insbesondere Akkumulatorwagen.
3. Die größere Fahrgeschwindigkeit.
4. Die gesteigerte Benutzung der Geleise in gewissen Tageszeiten.

Um den Oberbau diesen Anforderungen entsprechend widerstandsfähiger zu machen, hat man Stahlschienen von wesentlich stärkeren Querschnitten (Profilen) verwendet. Aus demselben Grunde wurden viele Konstruktionen zur Verbindung der Schienen ersonnen. Meistens beschränkte man sich auf die Verbindung vermittelst Laschen.

So sinnreich die Laschenverbindungen auch erdacht sein mögen, sie verbinden die Schienen nicht vollkommen fest. Diese Verbindungen lockern sich nach längerer Zeit. An den Verbindungsstellen stößt sich das rollende Material. Diese Stöße sind den fahrenden Personen lästig und verursachen einen raschen Verschleiß der Schienenenden und des rollenden Materials. Zur Beseitigung dieser Übelstände hat man zunächst in Amerika die Schienen elektrisch miteinander verschweißt. Die Verbindung war dann eine gute, das Gefüge des Schienenmateriales jedoch, besonders an den befahrenen Stellen, wurde zu Ungunsten der Haltbarkeit der Schienen verändert. Eine eigene Schienenstoßverbindung ohne Laschen, Fig. 131 und 132, erdachte im Jahr 1895 Albert von Hoffmann; dieselbe wurde von der Falk-Compagnie als Patent-Falkverfahren bezeichnet und erworben.

Dieses Verfahren besteht darin, eingebettete oder freiliegende, rechtwinklig geschnittene Rillen- oder Vignolschienen ohne Lochung und ohne weitere Bearbeitung an den Enden, sowie sie vom Walzwerk geliefert werden, durch Umgießen mit dünnflüssigem Gusseisen zu verbinden. Die einzelnen Arbeiten des Umgießens sind:

1. Sorgfältige Reinigung der zu verbindenden Schienenenden.
2. Einführung der Schienenenden in zweitheilige Gussformen.
3. Schätzung der Schienen durch geeignete Vorrichtungen gegen Heben und Ausrücken.

---

[1]) Vergl. Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger und maschinentechnische Rundschau 1900, S. 104. Siehe auch Pariser Weltausstellung 1900, Internationaler Straßenbahncongress, Bericht, J. Fischer-Dick.

4. Gießung von dünnflüssigem Gusseisen mittelst Gießpfannen, so dass die Lauffläche der Schienen von Gusseisen frei bleibt.

Der untere Theil des Schienenkopfes sammt Steg und Fuß ist vollständig mit einem Mantel von Gusseisen umgeben, welcher gleichzeitig für die Füße der Schienen eine feste Unterlage bildet. Zahlreiche Spreng- und Zerreißproben haben ergeben, dass die Schiene eher in der Nähe der Umgießungstelle, als an der Verbindungsstelle selbst reißt. Die Fig. 131 und 132 zeigen eine nach dem Falk'schen Verfahren hergestellte Schienenumgießung in der Längsansicht (Fig. 131) und im Querschnitt (Fig. 132). Jede solche Verbindung erfordert je nach dem Schienprofil 60 bis 80 *kg* Gusseisen bei einer Länge der Verbindung von 40 bis 50 *cm*. Etwa 4 Minuten nach erfolgtem Gusse können die Formstücke abgenommen und in etwa $1^1/_2$ Stunden kann das Geleise befahren werden. Alle Vorrichtungen zur Ausführung dieses



Fig. 131. Schienenstoßverbindung Falk (Längsansicht).



Fig. 132. Schienenstoßverbindung Falk (Querschnitt).

Verfahrens befinden sich auf einem Wagen. Der auf dem Wagen untergebrachte Kupolofen ist in 20 Minuten betriebsfähig und liefert in einer Stunde flüssiges Gusseisen für 40 bis 50 Stoßverbindungen. Wenn alle Vorarbeiten ausgeführt sind, können in einer Stunde 20 bis 25 Stöße umgossen werden.

Solche Schienenstoßverbindungen wurden bereits in großer Zahl in Amerika, England, Frankreich, Portugal, Belgien, Spanien und Österreich ausgeführt.

34. Widerstands- und Spannungsabfallmessungen an den Leitungen bei elektrischen Bahnen.[1]) Eine sehr einfache Methode, den Widerstand der Oberleitung sowohl, als auch der Schienenrückleitung zu messen, wurde von Zetter und Harrick angegeben. Diese Methode ist in der Fig. 133 schematisch dargestellt. Die Messung wird in der Centrale vorgenommen und bedingt, dass der Betrieb auf der Strecke ruht. Nehmen wir an, wir wollten den Widerstand des Fahr-

[1]) Vergl. Elektrotechnische Zeitschrift, 1899.

drahtes und den Widerstand der Schienenleitung bis zum Punkte E der Bahnstrecke bestimmen. Zu diesem Zwecke werden wir bei E die Oberleitung mit den Schienen leitend verbinden. Statt der sonst, während des Betriebes, eingeschalteten Wagenwiderstände, verwenden wir in der Centrale einen mit Fahrdraht, Schiene und Dynamo in Serie geschalteten Wasserwiderstand. Dieser Wasserwiderstand wird sehr einfach hergestellt. Man immt ein Ölfass, entfernt den Deckel, füllt dasselbe $^3/_4$ mit Wasser und taucht in dasselbe zwei Eisenplatten, jede 3·1 *mm* dick, 400 *mm* breit und 600 *mm* lang. Zwischen die Eisenplatten bringt man Schieferstücke, um ein Berühren der Eisenplatten zu verhindern. Ein solcher Wasserwiderstand lässt annähernd 200 Ampère bei 500 Volt durch. Von der Centrale wird nun ein Prüfdraht bis zu dem Punkte E gelegt, und mit einem in der Centrale befindlichen Spannungszeiger VM in der in der Figur angegebenen Weise, verbunden. Die Einrichtung wird nun so getroffen, dass es möglich ist, den Spannungszeiger sowohl an die Endpunkte des Fahrdrahtes zu legen, als auch an die Endpunkte der Schienenleitung. Der Widerstand wird einmal eingestellt unverändert gelassen. Die Änderung der Stromstärke in der Leitung erfolgt einfach durch Änderung der Generatorspannung. Man erhält auf diese Weise leicht Stromstärken von 50 bis 150 Ampère. Denken wir uns den Stromkreis geschlossen und eine bestimmte Stromstärke eingestellt. Zunächst wird der Spannungszeiger mit dem Punkte a verbunden. Fließt in der Leitung der Strom J, dann misst der Spannungszeiger die Spannung $J\,W$, wobei W der Widerstand der Fahrdrahtleitung bis zum Punkte E bedeutet. J messen wir mit dem Stromzeiger $A\,M$; dann kennen wir also den zu suchenden Fahrdrahtwiderstand W. Ganz ähnlich verfahren wir bei der Bestimmung des Widerstandes der Schienenleitung. Wir legen den Spannungszeiger an den Punkt E und bestimmen die Spannung $J\,W_1$ an den Endpunkten der Schienenleitung. Nachdem uns J bekannt ist, können wir W_1 leicht rechnen.

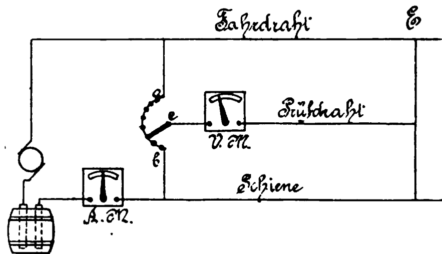


Fig. 133. Widerstandsmessung (Zetter und Harrick).

Eine andere Methode rührt von Harrick her. Dieselbe ist in Fig. 134 dargestellt. Sie setzt eine in Sektionen getheilte Fahrdrahtleitung voraus. Die Sektion B ist als stromlos angenommen. Der Wasserwiderstand und sämmtliche Apparate werden bei dieser Methode auf einem Motorwagen untergebracht. Diese Methode hat den Vortheil,

keinen Prüfdraht zu benöthigen. Wenn wir den Widerstand der den Leitungstheil *A* mit Strom versorgenden Speiseleitung sammt dem des Theiles *A* messen wollen, verfahren wir folgendermassen: Wir fahren mit dem Motorwagen so weit, dass der Stromabnehmer des Wagens den Theil *A* noch berührt.

Den Leitungstheil *B* verbinden wir mittelst eines Hakens mit den Apparaten in der in der Figur angegebenen Art. Nun schließen wir mittelst des Schalters *G* den Stromkreis. Der Spannungszeiger *C* liegt an den Punkten *A* und *E*. Diese Punkte *A* und *E* sind beide mit demselben Pole der Dynamo in der Centrale verbunden. *A* und *E* sollten also gleiches Potential haben, der Spannungszeiger *C* sollte keinen Ausschlag geben. Nun müssen wir aber bedenken, dass der Strom durch die

Fig. 134. Methode Harrick.

Speiseleitung, die den Leitungstheil *A* mit Strom versorgt, fließt, so dass infolge des Spannungsverlustes, das Potential im Punkte *A* kleiner sein muss, als im Punkte *F*. Der Theil *B* erhält keinen Strom, so dass der Potentialwert in *E* derselbe wird, wie im Punkte *F*. Der Spannungszeiger *C* misst also das Potentialgefälle *A E*, welches gleich ist dem Spannungsverluste *J W*, wenn *J* der Betriebsstrom und *W* der Widerstand der Speiseleitung und des Leiterabschnittes *A* sind. Der Spannungszeiger *D* misst den Spannungsverlust im Wasserwiderstande $J\,W_1$. Öffnet man nun den Schalter *G* und legt den Spannungszeiger *C* an *H*, wie es in der Figur durch die punktierte Linie angedeutet ist, dann misst der Spannungszeiger die Spannung in der Centrale. Diese Spannung kann man auch am Spannungszeiger *D* ablesen, wenn man den Übergangswiderstand zwischen Fahrdraht und Wagenkontakt vernachlässigt.

Subtrahieren wir von dem gemessenen Werte der Centralenspannung die Spannungswerte $J\,W$ und $J\,W_1$, dann erhalten wir den Spannungswert $J\,W_2$, wobei W_2 der Widerstand der Schienenleitung ist. Wir können also auf Grund dieser Messungen, nachdem wir durch die Ablesung am Stromzeiger auch J kennen, leicht die Werte W, W_1 und W_2 rechnen. Legt man den Wagenkontakt jetzt an B und den Haken an A, dann kann, ebenso wie früher der Widerstand W, der Widerstand der Speise- und Fahrdrahtleitung B bestimmt werden.

In Figur 135 ist eine Methode dargestellt, welche bei zweigeleisigen Bahnstrecken Anwendung finden kann. Die Instrumentenanordnung ist die gleiche, wie in dem vorhin besprochenen Falle. Werden schließlich hinter dem Streckenausschalter C alle Querverbindungen zwischen A

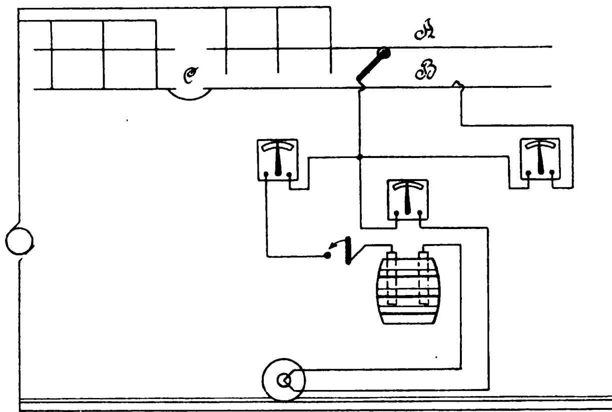


Fig. 135. **Widerstandsmessung.**

und B gelöst, dann dient der Draht B als Spannungsprüfdraht, wie in dem früheren Falle. Die Methode der Messung ist im Übrigen die gleiche wie früher.

35. Wechselstrombahnen. Die Verwendung des Wechselstromes bei elektrischen Bahnen bringt viele Vortheile mit sich. Der besondere Vortheil liegt darin, dass man den elektrischen Strom fernab von der Bahnanlage erzeugen und ihn unter hoher Spannung dem Bahnnetze zuführen kann. Dadurch verwendet man z. B. leicht Wasserkräfte zur Erzeugung von elektrischer Energie, selbst wenn dieselben viele Kilometer weit von der Bahn entfernt sind. Der Strom wird entweder hochgespannten Maschinen entnommen oder an der Erzeugungsstätte mittelst Transformatoren auf eine hohe Spannung hinauftransformiert

und den Vertheilungspunkten zugeführt, an welchen manchmal eine Erniedrigung dieser Spannung erfolgt. Ein weiterer besonderer Vortheil der Wechselstrombahnen liegt darin, dass der Wechselstrom, wenn er, was ja gewöhnlich geschieht, die Schienen als zweite Leitung benützt, keine elektrolytischen Wirkungen, auf im Erdreiche verlegte Metallmassen, ausübt. Die Wechselstrombahnen zerfallen in einphasige und mehrphasige Wechselstrombahnen.

a) Einphasige Wechselstrombahnen.

Das ansonsten sehr vortheilhafte System einer einphasigen Bahnanlage leidet darunter, dass, wie wir schon erwähnt haben, der einphasige Wechselstrommotor im Betriebe, vor Erreichung seines normalen Laufes, sich ungünstig verhält; er geht belastet nicht von selbst an. Es wurden nun verschiedene Vorschläge gemacht, um den einphasigen Wechselstrommotor zum Betriebe von Wechselstrombahnen tauglich zu machen. Wir wollen einige der wichtigsten dieser Vorschläge näher erörtern. Alle diese Methoden gehen gewöhnlich darauf hinaus, den einphasigen Strom in den Wagen einzuführen, dort aber die Einrichtung zu treffen, dass er als Mehrphasenstrom zur Wirkung kommt. Ein interessantes System dieser Art wurde von Ferraris und Arno vorgeschlagen. Bei diesem System wird der Einphasenstrom zunächst einem einphasigen Synchronmotor mit Kurzschlussanker zugeführt, der durch eine specielle Anlaufvorrichtung in Bewegung gesetzt wird. Die im Anker erzeugten Ströme wirken derart auf das Wechselfeld zurück, dass ein rotierendes Feld entsteht. Dieses Feld wird nun, ganz so wie in einem Mehrphasengenerator die rotierenden Pole, dazu benützt, Wechselströme verschiedener Phase zu erzeugen. Bei der gedachten Anordnung findet diese Induktion in den Feldspulen statt. Wir können nun die Anordnung der Feldspulen so treffen, dass zwei um 90° phasenverschobene Ströme erzeugt werden. Dieser Einphasenmotor wirkt also als Phasentransformator. Die zur Fortbewegung des Fahrzeuges verwendeten Motoren sind zweiphasige Motoren. Die eine Phase liegt an der Hauptleitung, die zweite Phase wird dem Phasentransformator entnommen. Zur Regulierung von Zugkraft und Geschwindigkeit dienen in den Anker der Motoren geschaltete Widerstände. Ein besonderer Nachtheil dieses Systemes besteht in dem Umstande, dass man gezwungen ist, den sich in beständiger Bewegung befindlichen Phasentransformator auf dem Wagen mitzunehmen.

Andere Systeme sind die Gleichstrom-Wechselstromsysteme von Déri und Siemens & Halske. A.-G. Diese Systeme zeigen im Wesentlichen folgende Einrichtungen. Denken wir uns, der Wagen besitze zwei Achsen. Auf der einen Achse sitzt ein Wechselstrommotor, auf der andern Achse ein Gleichstrom-Nebenschlussmotor, der mit einer aut

dem Wagen befindlichen Akkumulatorenbatterie in Verbindung steht. Beim Anfahren treibt die Akkumulatoren-Batterie den Nebenschlussmotor, der Wagen kommt in Gang und fährt immer rascher. Schließlich wird die Geschwindigkeit des Wagens erreicht, die dem synchronen Gang des Wechselstrommotors entspricht, und dieser tritt nun in Wirksamkeit. Dabei ist allmählich durch die Steigerung der Geschwindigkeit des Wagens die Klemmenspannung des Gleichstrommotors, der nun als Dynamomaschine wirkt, größer geworden als die Spannung der Akkumulatorenbatterie, und letztere wird jetzt durch die Gleichstrommaschine geladen. Die Gleichstrommaschinen treten immer als Motoren in Aktion, wenn die Geschwindigkeit des Wagens sinkt, speciell auf Steigungen, wo sie dann die Wechselstrommotoren in ihrer Thätigkeit unterstützen. Andere Gleichstrom-Wechselstromsysteme bestehen darin, dass der Wechselstrom bevor er den Motoren zugeführt wird, in Gleichstrom verwandelt wird. Zu dieser Umwandlung dienen stationäre rotierende Umformer, die gewöhnlich aus einer mit einem asynchronen Wechselstrommotor direkt gekuppelten Gleichstrommaschine bestehen, welche den Betriebsstrom von gewöhnlich 500 Volt Spannung liefern. Eine andere Konstruktion eines Wechselstrom-Gleichstromumformers rührt von Pollack her. Der hochgespannte Wechselstrom wird zunächst mittelst eines Transformators auf 500 Volt herabtransformiert und dann mittelst eines durch einen synchronen Motor bewegten rotierenden Kommutators in Gleichstrom verwandelt. Grätz und Pollak haben auch elektrochemische Verfahren angegeben, um Wechselstrom in Gleichstrom zu verwandeln. Der Strom wird dabei durch elektrolytische Zellen mit von einander verschiedenen Anoden und Kathoden geleitet. Diese Zellen sind nun in zwei Gruppen parallel geschaltet. Anode und Kathode befinden sich in der einen Gruppe in verkehrter Anordnung als in der andern Gruppe. Diese elektrolytischen Zellen lassen den elektrischen Strom nur in einer bestimmten Richtung durch. Es werden also durch diese zwei Gruppen von Zellen die Stromwellen verschiedener Richtung des Wechselstromes getrennt und dann zu einem pulsierenden Gleichstrome vereinigt. Andere Wechselstrom-Gleichstromumformer rühren von Déri und Hutin und Leblanc her.

b) Mehrphasige Wechselstrombahnen.

Zu diesen Bahnen wird der dreiphasige Drehstrom als Betriebsstrom und dreiphasige Drehstrommotoren als Bahnmotoren verwendet. Wenn die Bahn mit Oberleitung ausgestattet ist, dann bekommt sie zwei Oberleitungen und daher auch die Wagen zwei Stromabnehmer, als dritte Leitung dienen die Schienen. Die Regulierung der Geschwindigkeit der Motoren findet durch Änderung der Polzahl des Ständers statt.

Man fährt bei diesen Bahnen gewöhnlich mit der vollen Geschwindigkeit, da nur bei dieser die Motoren einen günstigen Wirkungsgrad zeigen. Die Verwendung der Drehstrommotoren hat den Vortheil, dass der Wagen im allgemeinen fortwährend mit gleicher Geschwindigkeit fährt, sei es auf ebener Bahn, oder in der Steigung, weil ja der Rotor des Motors gezwungen ist, sich synchron mit dem Felde zu drehen. Im Gefälle arbeitet der Motor selbstthätig auf das Netz als Generator. Auch durch diesen Umstand sind die Drehstrommotoren im Bahnbetriebe den Serien-Gleichstrommotoren überlegen, denn ein Serienmotor ist für gewöhnlich nicht als Dynamo zu verwenden. Es bedarf darum bei Gleichstrombahnen, bei welchen man die Arbeit im Gefälle rückgewinnen, etwa zum Laden von Akkumulatoren verwenden will, besonderer Einrichtungen. Beim Überfahren von Kreuzungen und Ausweichstellen braucht nur ein Fahrdraht benützt, also auch nur ein Leitungsdraht über diese Stelle geführt zu werden, denn der Drehstrommotor läuft nach dem Abschalten zweier Phasen als Einphasenmotor weiter. Die Gefahr, dass der Motor beim Überfahren dieser Stellen außer Takt fällt, wegen der Überlastung der einen Phase, ist nicht groß, da die lebendige Kraft des Zuges wesentlich mithilft, die Wagen über diese immerhin kurzen Bahnstrecken zu befördern. Dass sich bei diesen Bahnen alle bisher besprochenen Vortheile des Wechselstromes im allgemeinen und des Drehstromes im besonderen vortheilhaft geltend machen, ist selbstverständlich. Die erste Bahn dieser Art war die im December 1895 eröffnete Straßenbahn in Lugano in der Schweiz, erbaut von der Firma Brown, Boveri & Co. Auch die Jungfraubahn, diese kühne Bergbahn, ist als Drehstrombahn ausgeführt. Ausser diesen Bahnen werden in der Schweiz mit Drehstrom[1]) betrieben: Bergbahn Zermatt-Gornergrat, Bahn Stansstad-Engelberg und die Hauptbahnlinie Burgdorf-Thun (Juli 1898). Die Versuche mit diesem Systeme werden von den ersten Firmen beständig fortgesetzt, erst jüngst hat die Firma Ganz & Co. in Budapest eine Vesuchsstrecke vollendet und sie mit gutem Erfolge in Thätigkeit gesetzt. Wenn auch der Streit zwischen den Anhängern des Gleichstromsystems für Bahnen und denen des Wechsel- und Drehstromsystemes noch nicht geschlichtet ist, so lässt sich doch voraussagen, dass speciell für Fernbahnen das Drehstromsystem den Sieg davontragen wird, weil speciell bei letzterer Art von Bahnen es leichter möglich ist, mit einer hohen Betriebsspannung zu arbeiten, andererseits fällt bei diesen auch der Nachtheil der Drehstrommotoren, keine leichte Regulierung der Geschwindigkeit zuzulassen, weg, denn auf der offenen Strecke fährt der Zug fast beständig mit der vollen

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1900, S. 254.

Geschwindigkeit und dort, wo er mit verringerter Geschwindigkeit fahren muss, speciell in den Stationen, wird die oben erwähnte Geschwindigkeitsregulierung angewendet, wenn dadurch auch der Wirkungsgrad der Motoren sinkt.

36. Gleichstrom-Wechselstromsysteme bei den elektrischen Bahnen. Ein besonders interessantes System ist das Gleichstrom-Wechselstromsystem von Déri, dass man auch Wellenstromsystem nennen kann. Es ist eine Weiterentwicklung des eben besprochenen Principes eines Gleichstrom-Wechselstromsystemes. Der interessanteste Theil dieses Systemes ist der von Déri konstruierte kombinierte Gleichstrom-Wechselstromotor, der die Funktion beider, im vorhin besprochenen System erwähnten Motoren versieht. Auf die Konstruktion dieses Motors können wir hier nicht weiter eingehen und verweisen wir auf eine diesbezügliche Abhandlung in Heft 25 der Zeitschrift für Elektrotechnik, Jahrgang 1900.

Nachdem also bei Verwendung dieses Motors jede mit dem Motor versehene Achse bei Berechnung des Adhäsionsgewichtes in Berücksichtigung zu ziehen ist, denn, ob der Motor die Funktionen des Gleichstrommotors oder des Wechselstrommotors versieht, immer ist die Achse, auf welcher er sitzt, eine angetriebene Achse, ist das ganze Adhäsionsgewicht des Zuges fortwährend ausgenützt. Das Leitungssystem ist ein Dreileitersystem mit zwei Oberleitungen. Der hochgespannte Wechselstrom wird der Bahnanlage zugeführt, dortselbst in gewissen Punkten auf eine niedrige Spannung herabtransformiert und der einen Oberleitung zugeführt. Die Akkumulatorenbatterie, die bei den vorhin erwähnten Systemen in den Zügen mitgenommen werden mussten, sind bei diesem System stationär längs der Bahnanlage aufgestellt und an die zweite Oberleitung angeschlossen. Die Schienen dienen als gemeinsame Rückleitung für den Gleich- und für den Wechselstrom. Der in den Schienen fließende Strom ist also ein kombinierter Strom, den man Wellenstrom nennt. In den Stationen, Weichen und Kreuzungen kann die Wechselstromleitung wegbleiben, weil ja an diesen Stellen wegen der verminderten Fahrgeschwindigkeit die Motoren als Gleichstrommotoren arbeiten. Um auch auf der freien Strecke den zweiten Oberleitungsdraht zu ersparen, hat Déri folgende Einrichtung getroffen. Er verlegt die Akkumulatorenbatterien in die Transformatorstationen und schaltet dort die sekundäre Wicklung des Transformators mit der Akkumulatorenbatterie in Serie. Den freien Pol der Sekundärwicklung verbindet er mit der Oberleitung, den freien Pol der Batterie mit den Schienen. Es fließt also bei dieser Anordnung sowohl der durch die Oberleitung als durch die Schienen-

leitung Wellenstrom. Obwohl bei dieser Anordnung sowohl der Wechselstrom, als auch der Gleichstrom den Wechselstrommotor und die Akkumulatorenbatterie durchfließen, wird in jedem Apparate nur der entsprechende Strom Arbeit leisten, der andere Apparat ist für ihn lediglich Ohm'scher Widerstand. Das gleiche System lässt sich auch anwenden, wenn statt einphasiger, mehrphasiger Wechselstrom verwendet wird. Nur müssen dann zwei Wechselstromleitungen statt einer vorhanden sein.

37. Vorzüge der elektrischen Eisenbahnen im Vergleiche mit den Dampfbahnen:[1]

1. Bedeutende Ersparnis im Kohlenverbrauch.
2. Größere Sicherheit des Betriebes, weil die Regulierung der Geschwindigkeit augenblicklich vollzogen werden kann.
3. Gesundheitliche Vortheile, kein Rauch, kein Russ, keine Funken, keine Asche, kein Dampf.
4. Steigungen sind leicht zu nehmen. Die Grenze der Steigungen ist durch das Bergabfahren gegeben.
5. Kurven mit kleinem Radius bieten keine Schwierigkeiten.
6. Der Elektromotor ist einfacher als der Dampfmotor; er macht nur eine drehende Bewegung.
7. Das Adhäsionsgewicht der Elektrolokomotiven wird durch keine Extrapressungen verändert und kann deshalb ganz ausgenützt werden.
8. Bei den Motorwagen vergrößert die Nutzlast die Adhäsion, so dass das Gewicht des Wagens kleiner sein kann.
9. Die Lüftung der langen, unterirdischen Tunnels erscheint, weil kein Rauch vorhanden ist, erleichtert.
10. Das Bremsen, die Beleuchtung und die Beheizung kann mittelst Elektricität erfolgen.
11. Da der Maschinenführer weniger Arbeit hat, erscheint die Sicherheit des Betriebes erhöht; durch Anwendung des Rückstromes kann ein Zusammenstoß unmöglich gemacht werden.
12. Durch die sichtbaren Bewegungen der Maschinen der Dampflokomotiven scheuen Pferde.
13. Die Kessel der Dampfbahnen müssen vor dem Betriebe längere Zeit angeheizt werden.
14. Bei den Lokomotiven werden auch in den Ruhepunkten und auf Gefällen Kohlen verbraucht.
15. Das todte Gewicht der Lokomotive und der Wagen steht bei Verwendung von nur einem Wagen mit Fahrgästen in einem sehr ungünstigem Verhältnisse zur Nutzlast.

---

[1]) Näheres siehe Ludwig Spängler, Zeitschrift des Ingenieur- und Architektenvereines und Zeitchrift für Elektrotechnik. Wien, 1892. Seiten 293 ff. und Seiten 322 ff.

16. Hohe Reparaturkosten der Dampfbahnen.

17. Die Wagen der Dampfbahnen können nicht rasch genug zum Stillstande gebracht werden.

18. Elektrische Bahnen stellen sich billiger als Dampfbahnen.

Der größte Vortheil des Dampfbetriebes liegt in der großen Leistungsfähigkeit und in der Beförderung von großen Massen mit großen Geschwindigkeiten.

38. Die Vortheile der elektrischen Bahnen im Vergleiche mit den Pferdebahnen. [1])

1. Alle Unfälle, die besonders durch die Pferde entstehen (Ausgleiten u. s. w.), fallen fort.

2. Der Wagen ist mehr in der Gewalt des Schaffners, er kann eventuell unter Anwendung des Rückstromes, selbst bei dem etwaigen Bruche der Bremskette, auf geringe Wegeslängen zum Stillstande gebracht werden.

3. Elektrische Wagen verursachen viel weniger Geräusch als Pferdebahnwagen.

4. Der Straßenverkehr wird durch das Fortfallen der vielen Pferde ganz erheblich entlastet.

5. Der von den Pferden aufgewirbelte Staub, die Verunreinigung der Straßen durch die Pferde, das oft wiederkehrende Ausbessern des Pflasters u. s. w. sind vermieden.

6. Infolge der größeren Geschwindigkeit, des rascheren Anhaltens und Anfahrens ist es auch möglich, dass ein elektrischer Wagen in einem Tage (zu 18 Stunden) rund 200 *km* zurücklegen kann, also 50% mehr als im allergünstigsten Falle bei Pferdebahnen. Es wird dadurch eine bessere Ausnützung der Wagen erzielt und das Publikum hat zugleich den Vortheil der schnelleren Fahrt.

7. Die Wagen können leicht elektrisch, also bedeutend besser und handlicher beleuchtet werden wie jetzt mit den häufig qualmenden Petroleumlampen.

8. An Bodenfläche für Bahnhöfe, Pferdeställe, Bodenräume wird gespart, da die Maschinenanlage keineswegs soviel Fläche beansprucht als die Pferdeställe sammt Zugehör. Der elektrische Betrieb der Bahnen vermindert weiters die Kosten für die Straßenreinigung.

9. Die Betriebskosten sind bedeutend billiger als beim Pferdebahnbetrieb.

10. Billigere Fahrpreise.

---

[1]) Lokal- und Straßenbahnwesen, IX. Jahrgang, Seite 93 ff.

Diesen Vortheilen steht nur der Nachtheil gegenüber, dass sich die Anlagekosten der elektrischen Bahnen höher stellen als die der Pferdebahnen.

39. Untergrundbahnen. In Straßen mit dichtem Verkehre sind elektrische Bahnen auf Schienen ausgeschlossen. In solchen Fällen müssen Untergrund- oder Hochbahnen gebaut werden. Als Muster einer solchen Bahn sei hier die Franz Josef elektrische Untergrundbahn zu Budapest von Siemens & Halske A.-G.[1]) angeführt, deren Einrichtung der Verfasser 1895 an Ort und Stelle studierte. Die Bahn ist durchwegs zweigleisig hergestellt worden und hat eine normale Spurweite von 1435 *mm*. Die größte Steigung beträgt 20°/₀₀, der kleinste Bogenhalbmesser 40 *m* die Sohle und die Seitenwände des Tunnels sind auschließlich aus Beton, die Decke ist mit Betonkappen ausgeführt. Die Decke besteht aus eisernen Walzträgern. Der Oberbau der Untergrundbahn besteht aus Vignolschienen mit versetzten Stegen und Verblattstoß und aus eisernen Querschwellen. Der Dampf wird von vier Stück Wasserrohrkesseln von je 267 m^2 Heizfläche erzeugt. Im Maschinenhause sind zwei Stück Verbund-Dampfmaschinen mit Kondensation aufgestellt. Jede Dampfmaschine treibt eine Innenpoldynamomaschine unmittelbar an. Die Dynamomaschine leistet bei 300 Volt dauernd 1100 Ampère liefert aber auch zeitweise bis 1400 Ampère Gleichstrom.

Durch Drehstromvertheilung mit Unterstationen erscheint es möglich, selbst bei ausgedehnten Bahnnetzen die gesammte elektrische Energie an einer Stelle im Schwerpunkte des Netzes zu erzeugen. Nach diesem Systeme haben im Jahre 1900 die drei größten Städte der Welt Straßenbahnen gebaut. In ihrer Ausdehnung die größte ist die Metropolitan Street Railway in New-York, die gegenwärtig eine Gleislänge von 132 *km* hat und nach dem vollständigen Ausbau eine Gleislänge von 530 *km* haben wird. In der Centrale sind Drehstrommaschinen von 6600 Volt Spannung aufgestellt. Der Drehstrom von 6600 Volt wird in 6 Unterstationen auf sechsphasigen Strom von 350 Volt Phasenspannung transformiert und in Umformen auf Gleichstrom umgewandelt.

Das gleiche System hat der Verfasser bei der Central London Underground Railway in den ersten Tagen des Betriebes (August 1900) gesehen, die in 8·2 *km* Länge einen Stadttheil in Tunnels durchkreuzt, welche rund 20 *m* unter dem Straßenniveau liegen. In der Centrale sind 6 Drehstromgeneratoren zu 850 *K W*, bei 5000 Volt und

[1]) Bezüglich einer ausführlichen Beschreibung sei auf die Drucksorte dieser Firma hingewiesen.

25 ∾ aufgestellt. Die Strecke ist in vier Sektionen getheilt, welche von Unterstationen mit Gleichstrom von 500 Volt gespeist werden.

Die Stromzuführung erfolgt durch eine dritte, isolierte Schiene. Von einer vierachsigen Lokomotive werden ganze Züge, aus mehreren Waggons für je 48 Personen Fassungsraum bestehend, befördert. Diese Lokomotive enthält vier Motoren zu 117 *PS* und braucht 170 A. Die Fahrgäste werden von der Straße durch elektrische Aufzüge zu den Perrons gebracht.

Zur Zeit der Ausstellung (1900) hatte der Verfasser Gelegenheit kurze Zeit nach der Verkehrsübergabe die Pariser Untergrundbahn zu besichtigen. Die Strecke ist 11 *km* lang, hat 16 Stationen und liegt 6 bis 8 *m* unter dem Straßenniveau. Auch hier geschieht die Stromzuführung durch eine dritte Schiene, welche von Unterstationen Gleichstrom von 600 Volt erhält. In der Centrale wird Drehstrom von 5000 Volt erzeugt. Die Unterstationen sind außer den Transformatoren und Umformern noch mit einer Akkumulatorenbatterie für 1800 Amp.-Std.-Kap. und mit Spannungserhöhern ausgerüstet. Es verkehren nicht ganze Züge wie in London, sondern Motorwagen mit Anhängewagen in einer Zeitfolge von 10 Minuten.

40. Schwebebahn,[1]) Fig. 136. Das rasche Anwachsen der großen Städte bedingt eine derartige Steigerung des Verkehres innerhalb derselben, dass es unmöglich erscheint, ihn mit den an das Straßenniveau gebundenen Verkehrsmitteln zu bewältigen. Dem Schnellverkehr muss ein besonderes, freies Planum eingeräumt werden. Im Straßenniveau ist dies unmöglich und es bleibt nur der Ausweg, über oder unter die Erde zu gehen, d. h. Untergrund- oder Hochbahnen zu bauen. Untergrundbahnen können wegen ihrer Kostspieligkeit nur in Ausnahmsfällen zur Anwendung kommen. Ein weiteres Feld bietet sich für die Hochbahnen. Den bisher angewendeten Standhochbahnen hat sich als neues System die Schwebebahn zugesellt. Die Hochbahnen kommen für den Nah- und Fernverkehr in Betracht. Die ersten Versuchsausführungen der Langen'schen Schwebebahnen stammen aus dem Jahre 1893. Der ersten Versuchsbahn war ein zweischieniges System zugrunde gelegt, bei dem die Dreh- und Radgestelle der Wagenkasten auf zwei Schienen liefen und derart an ihnen aufgehängt waren, dass die Wagen innerhalb gewisser Grenzen frei ausschwingen konnten. Noch bessere Erfolge wurden bei einer einschie-

[1]) Vergl. Drucksorten der Continetalen Gesellschaft für elektrische Unternehmungen in Nürnberg und Richard Petersen, Fortschritte des Eisenbahnwesens 1900.



Fig. 136. Langen'sche Schwebebahn.

nigen Bahn erzielt. Eine weitere Versuchsausführung bezweckte die Herstellung leichter und billigerer Bahnen für besondere Zwecke. Bei der Versuchsbahn in Deutz konnte eine Steigung von 1:6 von einer Lokomotive mit zwei besetzten Wagen mit voller Sicherheit befahren werden. Bei noch größeren Steigungen lassen sich Zahnradschwebebahnen einfach dadurch herstellen, dass an Stelle der unteren Schiene eine Zahnstange angebracht wird. Bei einer solchen Bahn ist gegenüber den gewöhnlichen Zahnradbahnen ein Herausspringen des Zahnrades aus der Zahnstange und das Fallen von Fremdkörpern in die Zahnräder sammt den damit verbundenen Gefahren ausgeschlossen. Auch durch Seile betriebene Schwebebahnanlagen sind unter Umständen leicht auszuführen. Bei allen diesen Versuchen hat sich ergeben, dass das freie Hängen der Wagen und die Möglichkeit des Ausschwingens ohne Beeinträchtigung der Sicherheit die Grundbedingung des Vorzuges der Schwebebahn ist. Selbst der stärkste Wind hat kaum ein merkliches Schaukeln der Wagen ausgeübt, sogar der Versuch den Wagen vom Innern aus zum Schwingen zu bringen, gelang nicht. Das Schiefstellen der Wagen in den Krümmungen ist ein Erfordernis der sicheren und ruhigen Fahrt. Durch ausreichend lange Übergangskrümmungen wird auch das

Schaukeln der Wagen bei Übergang aus der Krümmung in die gerade Strecke vermieden.

Frühere Versuche anderer Erfinder sind:

1. Die Fahrzeuge hängen am Gleise: Enos, Perlay-Hale, Cook und Dietrich.

2. Die Fahrzeuge stehen auf einer Schiene: Beyer.

3. Die Fahrzeuge reiten auf der Fahrschiene: Lartigue, Meigs[1]), Behr[2]) und Andere[3]). Bei den Systemen Lartigue und Beyer liegt der Schwerpunkt des Wagens über der Schiene, bei den Systemen Cook und Dietrich neben der Schiene, bei den Systemen Enos und Perlay-Hale unterhalb der Schiene.

Schwebebahn Barmen—Elberfeld—Vohwinkel. Im Jänner 1899 wurde mit den Versuchsfahrten begonnen. Die Bahn hat eine Länge von 13·3 *km* und folgt, beim Bahnhofe Barmen—Rittershausen beginnend, dem Laufe der Wupper mitten durch die Industriestädte Barmen und Elberfeld, die Wupper vor Sonnborn verlassend, der durch Sonnborn und Vohwinkel führenden Hauptstraße bis zu ihrem Endpunkte unweit des Staatsbahnhofes in Vohwinkel.

Die Kurven in den Hauptgleisen haben einen durchschnittlichen Halbmesser von 90 *m*. Nur in vereinzelten Fällen ist der Halbmesser kleiner, fällt bis zu 30 *m* und in den Nebengeleisen bis zu 8 *m*. Die stärkste Steigung der Bahn beträgt 45‰. Die Steigungen sind so gewählt, dass sie in den Hauptgleisen keine Verminderung der Geschwindigkeit verursachen.

Bahnstützen. Die ganze Bahnkonstruktion wird von eisernen Stützen getragen. Über der Wupper sind diese schrägstehend konstruiert und gehen von den Ufern aus. Über den Hauptstraßen von Sonnborn und Vohwinkel wird die Bahn von den Bürgersteigen aus durch bogenartige Stützen getragen. Da sowohl die Laternen als auch die Drähte der Straßenbahnen an den Bahnstützen angebracht werden können, erscheint die Straßenfläche durch letztere nicht mehr beansprucht, als vorher. Auch Einzelstützen können zur Anwendung kommen.

Schienenträger und Schienen. Der am Bahnträger befestigte Schienenträger hat Doppel-*T*-Form und trägt auf seiner oberen Fläche die Fahrschiene. Seine untere Fläche aber ist durch einen, um den Schienenkopf beschriebenen Kreis begrenzt. Diese Begrenzung ist

---

[1]) Organ 1895, S. 47 und 66.

[2]) Centralblatt der Bauverwaltung 18. November 1899, die einschienige Schnellbahn Manchester-Liverpool.

[3]) Organ 1895, S. 129, wo eine große Zahl weiterer Quellen angegeben ist.

so durchgeführt, dass die den Schienenträger umfassenden Theile des Wagens in jeder Lage ein Entgleisen unmöglich machen, ohne jedoch das Ausschwingen der Wagen zu behindern.

Weichen. Die Schienen der Hauptgeleise sind ohne jede Lücke und ohne bewegliche Theile glatt durchgeführt worden. Da ferner an beiden Enden der Bahn die Gleise mit einer Rückkehrschleise von 8 *m* Halbmesser in einander übergehen, so bilden die Hauptgleise der ganzen zweigleisigen Bahn von Rittershausen bis Vohwinkel einen ununterbrochenen Schienenring. Außer an den beiden Enden der Bahn ist zwischen Elberfeld und Sonnborn eine Weiche angelegt, um einen Theil der Wagen das Umkehren zu ermöglichen, ohne bis nach Vohwinkel zu fahren. Hierbei senkt sich das Gleis der Weiche, nachdem es vom Hauptgleis abgezweigt ist, soweit, dass die Wagen, ohne den Betrieb auf den Hauptgleisen zu stören, unter der Bahn hindurch geführt werden können, und mündet dann mit einer Rückkehrschleife wieder in das Hauptgleis.

Prüfsteg. Die Begehung der Bahn wird durch einen Prüfsteg ermöglicht, der sich im Tragwerk zwischen den beiden Schienen befindet.

Haltestellen. Die Haltestellen können so wie bei den Standbahnen Mittel- oder Außenbahnsteige erhalten. Da bei den Schwebebahnen die Unterkante des Wagenkastens direkt über der freizuhaltenden Straßenhöhe liegt, während bei den Standbahnen die Unterkante der Bahnkonstruktion sich in dieser Höhe befindet und somit der Wagenfußboden um die Höhe dieser Konstruktion, der Räder und der Radgestelle höher liegen muss, haben die Schwebebahnsteige eine verhältnismäßig geringe Höhe. Die Höhe der Treppen der Haltestelle beträgt bei Schwebebahnen etwa 4·5, bei Standbahnen etwa 7·5 *m*.

Betriebsbahnhof. Am Ende der Bahn in Vohwinkel ist ein größerer Wagenschuppen und Betriebsbahnhof angelegt. Ersterer enthält am äußeren Ende zum Theil durch Rückkehrschleifen miteinander verbundene Gleise. Je vier dieser Gleise werden durch eine Art Schleppweiche zusammengefasst und diese beiden Gruppen durch einen halbkreisförmigen Schienenkranz miteinander verbunden, durch diese Anordnung können die Wagen aus jedem Gleis der einen Schuppenseite ohne Rücksetzen in jedes Gleis der andern Seite gelangen. Dadurch wird das Ordnen der Wagen im Schuppen außerordentlich erleichtert.

Wagen. Jeder Wagen hängt an zwei Drehgestellen, deren Abstand 8 *m* beträgt, an der Schiene, so dass die Wagen trotz ihrer Größe auch enge Krümmungen leicht durchfahren können. Jedes Drehgestell besitzt zwei Laufachsen, zwischen welchen sich je ein Elektromotor befindet. Die Wagen sind sämmtlich Motorwagen. Die Dreh-

gestelle sind aus der Fig. 136 ersichtlich. Sie führen von den beiden Enden des Wagens über die Schienen hinaus. An dem obersten Theile derselben sitzt vorne je ein Elektromotor. Die Wagen sind so aufgehängt, dass der Drehgestellrahmen den Schienenträger und die Schiene mit so geringem Spielraume umgreift, dass ein Entgleisen der Räder ganz unmöglich ist. Selbst bei einem Bruch der verschiedensten Konstruktionstheile erscheint ein Loslösen von der Bahn ausgeschlossen. Jeder Wagen enthält rund 50 Plätze, darunter 30 Sitzplätze.

Bremsen. Als Bremsen finden Verwendung:

1. Eine Luftdruckbremse nach dem System Westinghouse; dieselbe wirkt oben auf die Laufräder und wird vom Führerstande aus gehandhabt.

2. Eine Handbremse, welche gleichfalls auf das Gestänge der Luftdruckbremse wirkt und vom Führer oder Schaffner bethätigt werden kann.

3. Eine elektrische Bremse.

4. Eine elektrische Rückstrombremse als Nothbremse.

Kontaktleitung. Der Strom wird durch Gleitkontakte aus einer Kontaktleitung entnommen.

Stromverbrauch. Trotz des raschen Steigens des Stromverbrauches mit der Fahrgeschwindigkeit verbraucht die Schwebebahn, wegen der günstigen Reibungsverhältnisse wenig Strom.

Fahrgeschwindigkeit. Die größte Fahrgeschwindigkeit dürfte zunächst 50 *km* in der Stunde betragen.

Leistung. Die Leistung der Bahn ist sehr groß, da beliebig lange Züge in kürzester Zeit einander folgen können.

Vorzüge:

1. Geringe Herstellungskosten.
2. Leichte Überwindung von Terrainschwierigkeiten.
3. Größte Sicherheit gegen Entgleisungen.
4. Große Fahrgeschwindigkeit.
5. Ruhiges und angenehmes Fahren.
6. Geringes Geräusch.
7. Geringer Stromverbrauch.
8. Die schmale und leichte Bahnkonstruktion nimmt den Straßen weniger Licht weg, als andere Fahrbahnkonstruktionen.
9. Niedrige Treppen zu den Haltestellen.
10. Die Möglichkeit der Errichtung der Schwebebahn über dem Bahnkörper bestehender Eisenbahnen. Ohne neuen Grunderwerb wird daher die Leitungsfähigkeit der Bahn erhöht und ein Eindringen in den Mittelpunkt der großen Städte erreicht.

11. Als Aufschlussbahn für Gegenden, die Sandverwehungen, Uberflutungen und Überwucherungen ausgesetzt sind, daher als Tropenbahn sehr geeignet, wird eine leichtere Konstruktion ausgeführt. Letztere eignet sich auch vorzüglich zur Überwindung von Steigungen, da die Adhäsionskraft in einfacher Weise durch ein Laufrad, welches gegen eine unter dem Schienenträger angebrachte Schiene gepresst wird, erhöht werden kann.

Ersetzt man diese untere Schiene, um größere Steigungen zu bewältigen, durch eine Zahnstange, so erhält man eine unter besonders günstigen Verhältnissen arbeitende Zahnradbahn.

Nachtheile:

1. Die Unmöglichkeit des Überganges der Wagen auf gewöhnliche Straßenbahngeleise.

2. Die Unmöglichkeit des Aussteigens beim Hängenbleiben eines Wagens. Dem ist entgegenzuhalten, dass auch beim Liegenbleiben eines Zuges auf der Standhochbahn wohl nur die Überführung der Fahrenden in einem anderen Zuge in Frage kommt.

Diese Schwebebahnanlagen hat die continentale Gesellschaft für elektrische Unternehmungen durchgeführt unter der Mitwirkung der Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert & Co., Nürnberg, für den elektrischen und motorischen Theil, der Waggonfabrik van der Zypen & Charlier, Köln-Deutz, für den Bau der Wagen und der Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg A.-G. für die Tragekonstruktion.

41. Die Stufenbahn (le trottoir roulant) [1]), Fig. 137 und 138. Schon anlässlich der Ausstellungen in Chicago 1893 und Berlin 1896 waren Stufenbahnen im Kleinen im Betriebe. Das so sinnreiche Beförderungsmittel der Stufenbahn im großen Maßstabe zur Bewältigung eines sehr großen Verkehres zuerst ausgeführt zu haben, ist ein besonderes Verdienst der Pariser Weltausstellung 1900. Auf die eigentliche Stufenbahn gelangt man vom feststehenden, 1·1 *m* breiten Bürgersteig (la plateforme fixe) aus, von letzterem auf das erste 0·8 *m* breite Band mit 4 *km* Geschwindigkeit in der Stunde. Von dem ersten Bande führt der Weg auf das zweite 2 *m* breite Band. Das zweite Band hat eine Geschwindigkeit von 8 *km* in der Stunde. Die erste Stufenbahn mit 4 *km* Geschwindigkeit in der Stunde vermittelt das Besteigen der zweiten Stufenbahn. Für die Berechnung des Beförderungsvermögens wird daher nur

[1]) Vgl. Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger und maschinentechnische Rundschau, 1900, S. 78.



Fig. 137. Stufenbahn.

das zweite rollende Band mit einer Gesammtlänge von 3400 *m* in Betracht zu ziehen sein. Die Oberfläche dieses Bandes beträgt $3400 \times 2 = 6800\ m^2$. Nimmt man ferner an, dass sich gleichzeitig auf 1 m^2 zwei Personen aufhalten können, ohne sich gegenseitig zu belästigen, so fasste die Stufenbahn zu demselben Zeitpunkte $6800 \times 2 = 13.600$ Personen. Eine Rundfahrt dauerte beiläufig 25 Minuten und kostete 50 Cts. Die Bahn war täglich 15 Stunden im Betrieb. Damit ergibt sich die Höchstgrenze der täglichen Beförderung zu:

$$13.600 \times \left(\frac{15 \times 60}{25}\right) = 489.000 \text{ Personen.}$$

Der thatsächliche Verkehr betrug an Sonntagen 100.000 Personen.

Fig. 137 veranschaulicht einen Theil der Stufenbahn in der Avenue de la Bourdonnais beim Eingangsthor Nr. 17. Die Fortbewegung der beiden Stufenbahnböden, Fig. 138, erfolgt durch Adhäsion von zwei laufenden Eisenschienen auf zwei Friktionsrädern. Auf der ganzen Länge der Bahnstrecke sind 172 feststehende Wagengestelle (trucs) vertheilt. Auf diesen Wagengestellen sind als Führung mit den profilierten Schienen übereinstimmende Gleitrollen angebracht, welche in der Figur wegen der Deutlichkeit des Bildes weggelassen wurden. Der Antrieb der Friktionsräder erfolgt vermittelst eines Reduktionsgetriebes mit Stirnrädern, durch unmittelbar unter den Rollböden angebrachte Gleichstrom-Serienmotoren. Letztere werden durch eine große Gleichstrommaschine gespeist, die mit einen Dreiphasen-Wechselstrommotor unmittelbar gekuppelt ist.

Die Stufenbahn ruhte in einer Höhe von beiläufig 6 *m* auf einer schön ausgestatteten Eisenkonstruktion, die durch hölzerne Gerüste getragen wurde. Es waren im Ganzen elf Stationen, beziehungsweise

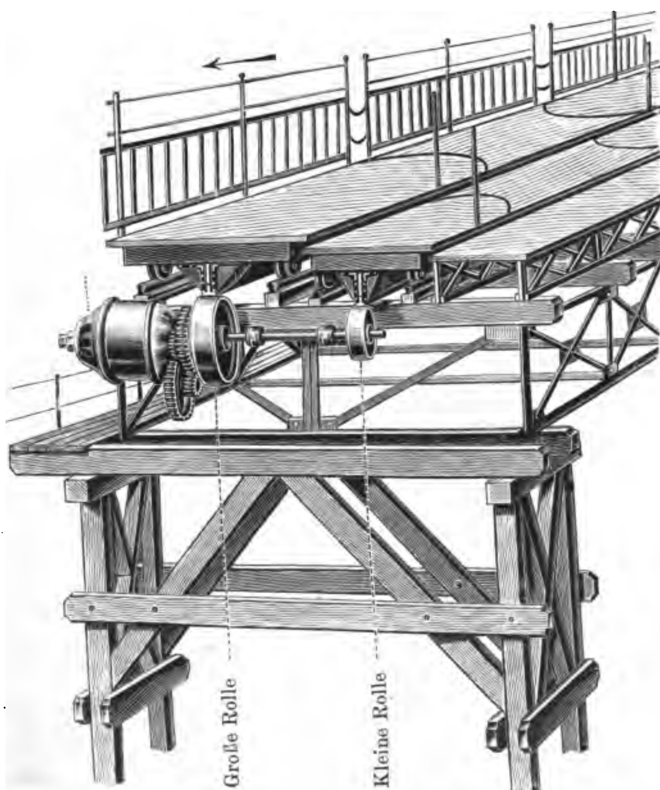


Fig. 138. Stufenbahn.

Aufstiege vorhanden. Zur Bequemlichkeit des fahrenden Publikums befanden sich in kleinen Zwischenräumen auf beiden Rollböden hölzerne, mit Kugeln versehene Stützen, Fig. 138. Diese Stützen sollten dazu dienen, das Überschreiten von dem trottoir fixe zu dem trottoir roulant mit der 4 *km* Geschwindigkeit, oder vom Letzteren zur eigentlichen Stufenbahn mit 8 *km* Geschwindigkeit zu erleichtern. Auch ohne diese Stützen war ein Auf- und Absteigen durchaus ungefährlich. Bänke zum Sitzen waren nur wenige angebracht.

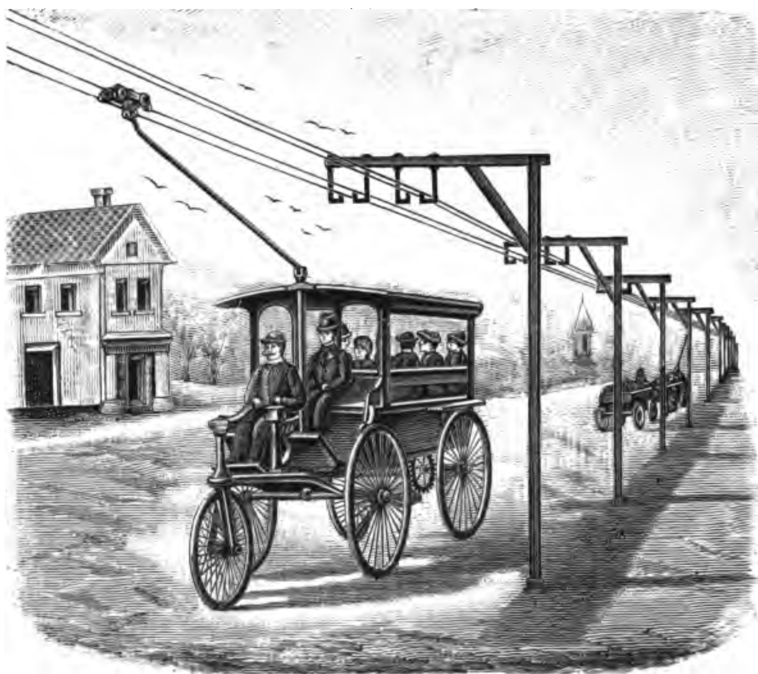


Fig. 139. Elektrischer Omnibus.

42. Elektrischer Omnibus. In Fig. 139 ist ein elektrischer amerikanischer Omnibus abgebildet. Dieses Bild versinnlicht einen elektrischen Selbstfahrer ohne Schienen. Aus der Maschinenstation fließt der Strom in die Leitungen, welche von Leitungsstangen, vermittelst Konsolen, getragen werden. Ein Kontaktwagen führt den Strom aus einer Leitung in den Elektromotor und von diesem zur zweiten Leitung zurück. In der Figur sind vier Leitungen ersichtlich, so dass der Verkehr zweier Wagen unabhängig von einander, in derselben oder in entgegengesetzten Richtungen ermöglicht erscheint.

Ein Fahrzeug von neuer und eigenartiger Bauart, Fig. 140, das eine Lücke unter den dem öffentlichen Verkehr dienenden Betriebsmitteln ausfüllt, ist von der Siemens & Halske A.-G. hergestellt und in Betrieb genommen worden.[1]) Es ist dies ein automobiler, elektrisch angetriebener Omnibus, der sich von den bisher bekannten Fahrzeugen dieser Art dadurch unterscheidet, dass er mit zwei besonderen Leiträdern vor den vorderen Laufrädern und dem bekannten Siemensbügel versehen ist, die ihm gestatten, sich nicht nur auf Straßen ohne Schienen, sondern auch auf den Gleisen einer Straßenbahn wie ein gewöhnlicher Straßenbahnwagen zu bewegen.



Fig. 140. Elektrischer Omnibus.

Dieses Fahrzeug vermag daher, indem es theils auf den Straßenbahnschienen, theils auf Straßen ohne Schienen läuft, auf kürzestem Wege sämmtliche Stadtviertel zu verbinden, da es auch diejenigen, gewöhnlich im Mittelpunkte einer Großstadt gelegenen Straßen benutzen kann, welche wegen ihrer geringen Breite oder großen Verkehrsdichte der Durchführung von Straßenbahnen verschlossen sind. Auch das Kreuzen und Befahren von Prachtstraßen, in denen Straßenbahnen nicht angelegt werden dürfen, ist mit dem neuen Fahrzeug möglich, so dass auch durch solche Straßen mittelst dieses Straßenbahn-Omnibus durchgehende Verkehrsverbindungen gelegt werden können.

[1]) Nachrichten von Siemens & Halske, Elektrotechnische Zeitschrift, 1899, H. 35.

Bei der Fahrt auf den Gleisen einer Straßenbahn mit Oberleitung nimmt der Wagen den zu seiner Fortbewegung und zum Laden seiner Akkumulatoren erforderlichen Strom von dem Fahrdraht der elektrischen Straßenbahn, während bei der Fahrt auf den schienenlosen Straßen die Leiträder hochgehoben sind, der Bügel niedergelegt wird und die Akkumulatoren den Strom für die Fahrt liefern.

Hiedurch werden gegenüber den bisher bekannten elektrischen Selbstfahrern die Vortheile erreicht, dass die Akkumulatorenbatterie leichter sein kann, dass der Stromverbrauch wegen des verminderten Widerstandes während der Fahrt auf dem Gleise geringer, der Gang des Fahrzeuges sanfter, eine größere Fahrgeschwindigkeit möglich, und ein Aufenthalt zum Nachladen der Batterie an den Endpunkten der Fahrt entbehrlich ist.

Die äußere Erscheinung des Fahrzeuges weicht von der mit Pferden betriebener Omnibusse nur dadurch ab, dass, entsprechend der Spurweite der Gleise, die hinteren Räder enger zusammen gebaut und die Vorderräder behufs besserer Lenkbarkeit unter der vorn am Wagenkasten erhöht angebrachten Plattform des Führerstandes angeordnet sind. Vor den Vorderrädern des Wagens ist eine dritte, leichte Leitachse mit zwei kleinen, mit Spurkränzen versehenen Rädern, den erwähnten Leiträdern, angebracht, die vom Führerstand aus gehoben und gesenkt werden können und die Führung des Wagens auf den Schienen übernehmen, wenn der Wagen auf den Straßenbahngleisen fährt. Über der Vorderachse befindet sich auf dem Dach des Führerstandes der den elektrischen Wagen der Siemens & Halske A.-G. eingenthümliche umlegbare Schleifbügel für die Stromentnahme aus der Luftleitung der elektrischen Straßenbahnen.

Der auch bei sonstigem Straßenfuhrwerk übliche Drehschemel der Vorderräder, welcher oben auf Kugeln gelagert ist, kann bei dem elektrischen Omnibus vom Führerstand aus soweit umgedreht werden, bis die Räder des Drehschemels quer zur Fahrtrichtung stehen.

Durch diese Anordnung ist es ermöglicht, dass der Wagen auch in sehr schmalen Straßen ohneweiters umwenden kann.

Als Bremsen sind vorgesehen: Eine mechanische Klotzbremse, die auf die Hinterräder wirkt, für die betriebsmäßige Benutzung dagegen eine elektrische Kurzschlussbremse, die an allen 4 Rädern angreift und mit demselben Hebel des Fahrschalters, der auf Vorwärtsfahrt schaltet, bethätigt wird.

Vier Motoren, die auf die 4 Laufräder des Omnibus wirken, treiben denselben an und machen es möglich, dass die Adhäsion aller Räder

vollständig ausgenutzt wird, ein Vortheil der bei glatter oder schlüpfriger Fahrbahn nicht zu unterschätzen ist.

Die Schaltung der Motoren durch den Fahrschalter, die Zuleitung und Ableitung zu jenen und den Akkumulatoren ist nach den bei Straßenbahnwagen bewährten Mustern unter eingehender Berücksichtigung der Eigenthümlichkeiten des Omnibusbetriebes durchgeführt.

Die Akkumulatorenbatterie besteht aus 200 Zellen.

Dieser Omnibus kann auch in solchen Fällen, in denen aus irgend welchen Gründen in den Straßen wohl die Anbringung der Oberleitung gestattet ist, dagegen die Verlegung von Schienen nicht erlaubt wird, in etwas abgeänderter Bauart verwendet werden. Es kommen alsdann die Akkumulatorenbatterie und die Leitachse mit den Leiträdern in Fortfall. Der Omnibus entnimmt hierbei den Strom zu seiner Fortbewegung nur der Obleitung, die für diesen Zweck zweidrähtig, für Hin- und Rückleitung des Stromes, ausgebildet sein muss und zwar vermittelst eines für solche zweipolige Leitungen geeigneten der Siemens & Halske A.-G. patentierten Bügels.

Die Motoren sind den hohen Anforderungen des Straßenwagenbetriebes entsprechend ausgeführt. Sie werden zum Antrieb von Straßenfuhrwerken jeder Art und Größe für einfache und doppelte Zahnradübersetzung und für Spannungen vom 75, 150 und 500 Volt geliefert.

Bei der Ausführung der Fahrschalter wurde besonders auf Gediegenheit und dabei große Leichtigkeit Rücksicht genommen.

43. Elektrische Selbstfahrer (Automobile).[1] Unter einem Selbstfahrer verstehen wir ein Straßenfuhrwerk, welches sich selbstthätig ohne Energie-Zuleitung und ohne Gleise bewegt und ein Gewicht von 200 *kg* besitzt. Das Fahrzeug enthält eine gewisse Energiemenge in sich aufgespeichert. Diese Energiemenge muss von Zeit zu Zeit erneuert werden. Derartige Einrichtungen zeigen die uns hier besonders interessierenden elektrisch mittelst Akkumulatoren betriebenen Selbstfahrer. Die Selbstfahrer können aber auch mittels Benzin, Petroleum, überhitzten Dampf und komprimierter Luft betrieben werden. Für den städtischen Verkehr kommen bloß Benzin und Elektrizität in Betracht. Die mit Benzinmotoren betriebenen Selbstfahrer besitzen zahlreiche, schwerwiegende Nachtheile, welche die mit Akkumulatoren und Elektromotoren betriebenen, nicht aufweisen. So haben sie einen

---

[1]) Siehe Ernst Egger, Elektrische Automobile.
Ludwig Czischek, Automobile. Franz Wilking, Elektrische Fahrzeuge, Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 817. Ludwig Czischek, Automobilausstellung, Wien, 1900.

heiklen Mechanismus, sind in Explosionsgefahr, verbreiten einen unangenehmen, von den Explosionsgasen herrührenden Geruch und verursachen während des Betriebes bedeutenden Lärm. Alle diese Nachtheile besitzt der elektrische Selbstfahrer (Elektromobil) nicht. Es ist darum nur zu gerechtfertigt, dass sich eine Reihe hervorragender Elektrotechniker mit der Konstruktion von elektrischen Selbstfahrern befasst. Bis heute gelang es noch nicht, eine völlig einwandfreie Konstruktion zu ersinnen. Ein Nachtheil der elektrischen Selbstfahrer, das mitzuführende bedeutende Gewicht der Akkumulatoren, wird erst dann verschwinden, bis ein leichter Akkumulator erfunden sein wird. Jedesfalls darf man vorhersagen, dass die Zukunft dem elektrischen Selbstfahrer gehört.

Ein Selbstfahrer muss im allgemeinen folgenden Konstruktionsbedingungen entsprechen:

1. Die getriebenen Räder müssen von einander unabhängig sein.
2. Der Fahrtwiderstand muss möglichst gering erscheinen.
3. Der Selbstfahrer muss leicht lenkbar sein.
4. Er muss im Stande sein, alle Straßensteigungen leicht zu nehmen.
5. Er muss ein rationelles Gewicht haben.
6. Man muss im Stande sein, eine genügend große Fahrgeschwindigkeit zu erreichen; letztere muss innerhalb weiter Grenzen leicht reguliert werden können.
7. Der Betrieb muss relativ wirtschaftlich sein.

Wir wollen nun an die Besprechung der einzelnen Punkte gehen.

1. Die getriebenen Räder müssen deshalb von einander unabhängig sein, weil beim Befahren von Kurven das äußere Rad einen größeren Weg als das innere Rad zurückzulegen hat und darum eine größere Umfangs- und eine größere Winkelgeschwindigkeit besitzt. Die Räder werden darum durch besondere Mechanismen beim Betriebe von einander unabhängig gemacht. Die Nothwendigkeit dieser konstruktiven Anordnung tritt auch beim Wenden des Wagens ein, wobei das innere Rad oft still steht. Manchesmal bewirken auch die Unebenheiten und Ungleichheiten des befahrenen Gebietes, dass unterhalb jedes der Räder ein anderes Abwälzungsverhältnis besteht. Die nicht angetriebenen Räder des Selbstfahrers werden ebenso wie bei anderen Fuhrwerken lose auf den festen Achsen des Wagens angebracht, so dass auch diese Räder bei ihrer Bewegung von einander völlig unabhängig sind. Die Einrichtungen, mit deren Hilfe die angetriebenen Räder von einander unabhängig gemacht werden können, sind mechanischer oder elektrischer Natur. Bei Vorhandensein nur eines Motors ist eine der oft verwendeten, mechanischen Vorrichtungen, um die angetriebenen Räder von

einander unabhängig zu machen, das sogenannte Differentialgetriebe. Ein solcher Antrieb ist in Figur 141 dargestellt. Auf der Achse des Motors *M* sitzt das Zahnrad *a*. Dieses Zahnrad greift in das Zahnrad *b* ein. Im Rade *b* sind die beiden Kegelräder K_2 und K_3 gelagert. Die Wagenachse besteht aus zwei Theilen *L L*. Diese beiden Achstheile werden dort, wo sie aneinander stoßen, von einem nabenförmigen Körper *n* umfasst. Die Wagenränder *R R* sind mit den Wellentheilen verkeilt. Fährt der Wagen in der Geraden, dann legen die Umfänge der Räder *R R* gleiche Wege zurück, die beiden Wellen *L L* machen gleich viel Umdrehungen. Die auf den Wellen *L L* fest montierten Kegelräder *K* und K_1, welche mit den Kegelrädern K_2 und K_3 in Eingriff stehen, machen gleich viel Umdrehungen in der Minute. In

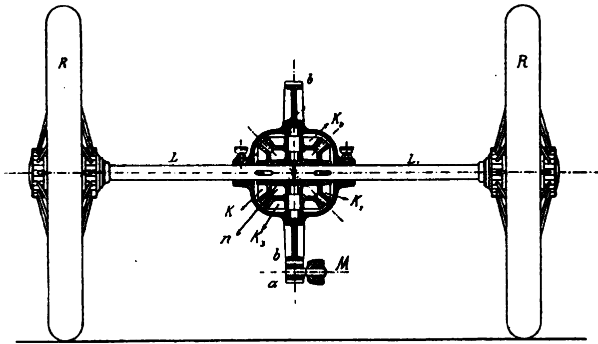


Fig. 141. Unabhängigkeit der getriebenen Räder (Differentialgetriebe).

diesem Falle wirkt das Getriebe lediglich als Kuppelung, die gegenseitige Lage der 4 Kegelräder bleibt unverändert. Fährt der Wagen jedoch in einer Kurve, dann werden die beiden Kegelräder *K* und K_1 verschiedene Umfangsgeschwindigkeiten haben, nachdem ja die beiden Wellen *L L* verschiedene Umdrehungszahlen besitzen. Es wird jetzt ein Abwälzen der Kegelräder K_2 und K_3 an den Umfängen der Räder *K* und K_1 mit der Differenz der Umfangsgeschwindigkeiten der Räder *K* und K_1 stattfinden müssen, und die Folge davon ist, dass sich die Nabe *n* um die Wellen *L L* drehen wird. In der Figur 142 ist eine Konstruktion dargestellt, bei welcher die Räder *R* sich lose auf der Welle drehen, so dass man für die Welle *L*, welche fest montiert ist, keine Lager braucht. Der Motor *M* treibt die hohle Welle *W*, welche in sich den einen Theil der aus zwei Theilen bestehenden Welle W_1 birgt. Diese Welle dreht einen Gusseisenkörper, in welchem zwei Kegelräder

gelagert sind. Diese Kegelräder stehen mit den Kegelrädern K und K_1 in Eingriff, die mit den Wellentheilen W_1 verkeilt sind. Auf den Wellen W_1 sitzen die Stirnräder Z, welche in die Zahnräder Z_1 eingreifen, die ihrerseits mit den Rädern R verbunden sind. Das Differentialwerk ist also das gleiche, wie bei der vorigen Konstruktion. Diese mechanischen Lösungen der Aufgabe, die angetriebenen Räder von

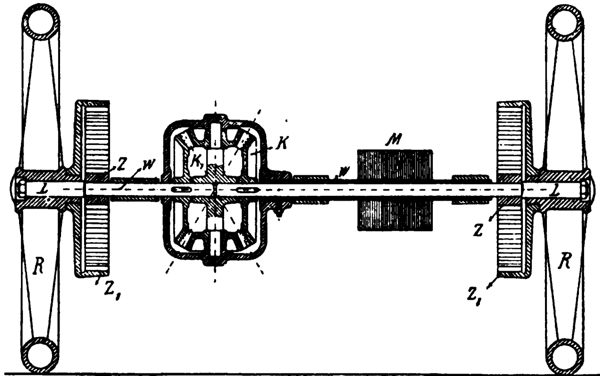


Fig. 142. Unabhängigkeit der getriebenen Räder (Mechanische Konstruktion).

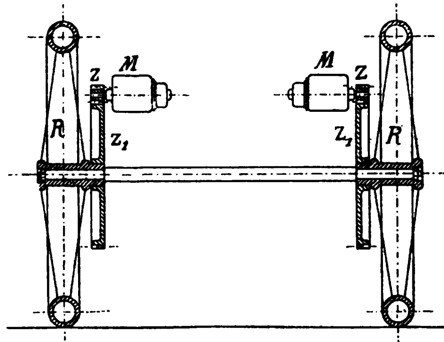


Fig. 143. Unabhängigkeit der getriebenen Räder (Elektrische Konstruktion).

einander unabhängig zu machen, sind mangelhaft. Sowohl das Differentialwerk als die hohle Welle sind heikle Konstruktionstheile, erhöhen das Gewicht des Wagens, verzehren Kraft und bedürfen fortwährender Wartung.

Eine elektrische Lösung der gestellten Aufgabe zeigt die Figur 143. Man bedarf zweier Motoren, und zwar je einen für jedes Laufrad. Auf der Welle jedes Motors sitzt ein Zahnrad Z. Dieses greift in das Zahnrad Z_1, welches mit dem Laufrade R verbunden ist. Die beiden

Motoren sind Serienmotoren, welche hinter einander an die im Wagen vorhandene Akkumulatorenbatterie angeschlossen werden. Während der Fahrt hat man bloß die Achse, an welcher die Räder sitzen, zu lenken, die Spannung an den Motoren stellt sich selbstthätig, entsprechend der Geschwindigkeit des betreffenden Wagenrades ein.

2. Die Vereinigung aller vom Fahrzeuge zu überwindenden Widerstände führt zur Aufstellung eines Traktionskoefficienten, der für den Konstrukteur von Selbstfahrern von größter Bedeutung ist. Die inneren Widerstände des Wagens setzen sich aus der zum Betriebe des Motors, des Getriebes und der Räder auf den Achsen nothwendigen Arbeiten zusammen. Um diese Widerstände zu verkleinern, laufen die Zapfen in Kugellagern, die Getriebeverluste werden durch Anwendung des Zweimotorsystems verringert. Der beim Fahrtwiderstande am meisten in Gewicht fallende Faktor ist die rollende Reibung zwischen Rädern und Terrain. Die rollende Reibung wird durch Anwendung von Luftreifen, sogenannten Pneumatiks, an den Rädern herabgesetzt. Der Betrag der rollenden Reibung bei Anwendung von Luftreifen zu dem bei Verwendung von Eisenreifen verhält sich im Mittel wie 100 : 152.[1]) Besitzt der Wagen Eisenreifen, dann muss derselbe über die in den Weg kommenden Hindernisse gehoben werden, was Arbeit kostet. Ein Luftreifen wird einfach in einem solchen Falle eingedrückt und wälzt sich über das Hindernis. Die Versuche bestätigen diese Theorie. Wird z. B. ein Luftreifen einmal mit Luft von 3 Atm. Spannung, das anderemal mit Luft von $4^1/_2$ Atm Spannung gefüllt, dann steigt im letzteren Falle der Fahrtwiderstand gegen den ersten Fall um circa $15^0/_0$. Es konnte nämlich der Luftreifen in dem Falle, wo derselbe zu stark aufgepumpt war, sich nicht so gut eindrücken, und der Wagen musste theilweise gehoben werden. Infolge der Anwendung von Luftreifen bei den Selbstfahrern erspart man eine federnde Aufhängung der Motoren, da die Elasticität der Luftreifen die Motoren vor heftigen Stößen bewahrt. Bei der Verwendung von Pneumatikrädern ergibt sich nach Morin bei einer Fahrt mit einer Geschwindigkeit von 20 *km* in der Stunde auf kothiger, aber ebener Landstraße ein totaler Widerstandskoefficient von 0·065 bezogen auf 1 *kg* Wagengewicht. Für je 100 *kg* Wagengewicht wären also bei obigen Annahmen aufzuwenden:

$$\frac{100 \,.\, 0{\cdot}065 \,.\, 20000}{3600 \,.\, 75} = 0{\cdot}48 \; HP.$$

Denken wir uns, derselbe Wagen fahre auf derselben Straße in einer Steigung von $10^0/_0$ mit der Geschwindigkeit von 15 *km* pro Stunde,

[1]) Siehe, Ernst Egger, Über elektrische Automobile, Z. f. E. 1899.

dann benöthigt der Wagen zur Vorwärtsbewegung von je 100 *kg* Wagengewicht:

$$\frac{100 \,.\, (0\cdot065 + 0\cdot1) \,.\, 15000}{3600 \,.\, 75} = 0\cdot91\ HP.$$

Auf die Größe des Fahrtwiderstandes hat auch der Winddruck einen Einfluss. Dieser Einfluss darf bei stärkeren Winden nicht vernachlässigt werden, da der Winddruck mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst, was aus den Daten der folgenden Tabelle hervorgeht:

Art des Windes		Geschwindigkeit in *m* p. S.	Druck in *kg* pro m^2
kaum fühlbar		1	0·14
leichte Brise		2	0·54
frische Windbrise . . .		4	2·17
sehr frischer Wind	Segelschwellend	6	4·87
	fürWindmotoren	7	6·64
	starke Brise . .	8	8·67
	für Seefahrt .	9	10·97
sehr starke Brise . . .		10	13·54
		12	19·50
sehr starker Wind . . .		15	30·47
ungestümer Wind . . .		20	54·16
Sturm		24	78·0
heftiger Sturm		30	122
Orkan		36	177
		40	186
Gewaltigster Orkan . . .		45	277

Bei einem Wagen mit 1·5 m^2 Vorderprojection beträgt bei 20 *km* Fahrgeschwindigkeit per Stunde der Luftdruck 3·2 *kg* pro 1 m^2 und 3·2 . 1·5 = 4·8 *kg* der Gesammtdruck. Nehmen wir nun an, der Wagen muss gegen einen starken Wind von 10 *m* Geschwindigkeit pro Sekunde fahren, dann beträgt der Gesammtwiderstand der Luft 31 . 1·5 = 46·5 *kg*. Der Luftdruck ist also gegen früher um 41·7 *kg* gestiegen.

3. Die Lenkung des Selbstfahrers erfolgt durch Verdrehung der Lenkachse, das ist die Achse, an welcher das Räderpaar sitzt, das die Lenkung des Wagens besorgen soll. Die Lenkachse wird mit Hilfe der Lenkkurbel um einen in ihrer Mitte befestigten, vertikalen Zapfen gedreht. Nachdem bei dieser Methode des Lenkens die beiden Räder immer zu einander parallel bleiben, also keine Rücksicht genommen wird auf die Verschiedenheit des Kurvenradius, der jedem der Räder beim Befahren einer Krümmung entspricht, ist diese Lenkmethode keine völlig entsprechende. Die Umkehrung der Fahrtrichtung des Wagens

erfolgt durch Reversieren des Motors. Figur 144 zeigt eine theoretisch richtige Lenkung der Räder. Bei dieser Anordnung findet unter allen Umständen ein vollständiges Abwälzen der Lenkräder auf der Fahrbahn statt. Der Lenkmechanismus ist so angeordnet, dass unter allen Umständen die Lenkräder auf dem jeweiligen Kurvenradius senkrecht stehen. Die Konstruktion des Selbstfahrers kann so ausgeführt werden, dass die Vorderräder getrieben, die Hinterräder gelenkt werden, oder umgekehrt. Krieger trifft die Anordnung so, dass die Vorderräder sowohl gelenkt als getrieben werden. Diese Konstruktion hat den Nachtheil, dass die Lenkung größeren Arbeitsaufwand erfordert, nachdem die Lenkachse, da sie gleichzeitig Treibachse ist, wegen des auf ihr ruhenden nothwendigen Adhäsionsgewichtes schwerer zu drehen ist.

4. Alle im Straßenverkehr vorkommenden Steigungen müssen leicht genommen werden können. Ebenso muss auch Vorsorge getroffen werden, dass das Bergabfahren mit aller Sicherheit erfolgt. In manchen Städten findet man Rampen von 90‰ bis 100‰ Steigung. Es muss möglich sein, einen Selbstfahrer mit aller Sicherheit auf der Rampe anzuhalten. Die einfachste Methode ist die des Schaltens des Motors während der Fahrt auf Widerstände. Der Motor wirkt als Dynamo und gibt Energie an die Widerstände ab. Bei Versuchen in Paris, mit Hilfe dieses Verfahrens das Fahrzeug zu bremsen, ergaben sich je nach Steigung und Geschwindigkeit des Elektromobils beim Bergabfahren Bremslängen von 3—14 *m*. Zur Sicherheit, für den Fall als die Stromquelle versagen sollte, befinden sich auf dem Wagen auch Handbremsen zum Abbremsen der Triebräder, sowie Hebel, die sich speciell beim Bergabfahren gegen die Fahrbahn stemmen. In jedem Wagen befindet sich auch ein mit dem Fuße zu bethätigender Stromausschalter.

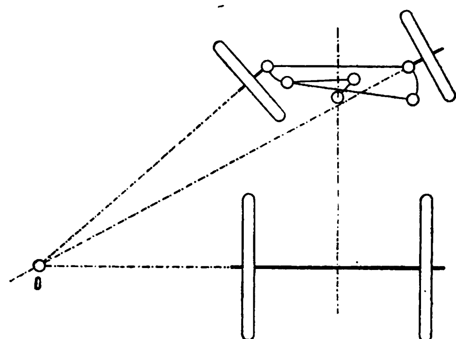


Fig. 144. Lenkung der Räder.

5. Im allgemeinen wird es also von Vortheil sein, den Selbstfahrer leicht zu bauen. Er wird dann mit der gleichen Menge aufgespeicherter Energie länger auskommen. Doch darf man mit dem Gewichte nicht so weit heruntergehen, dass dadurch andere Konstruktionsbedingungen leiden. Es ist also wohl am Platze, mit Egger die Forderung eines rationellen Gewichtes zu erheben. Um das Gewicht der Wagen zu ermäßigen, baut man z. B. die Räder so wie bei den Fahrrädern; die

Theile der Motoren, welche keine magnetische Leitfähigkeit zu besitzen brauchen, werden aus Aluminiumlegierungen hergestellt, etc. Das hauptsächlichste Bestreben geht dahin, die Akkumulatorenbatterien so leicht als möglich zu bauen. Wir werden bei Besprechung der Akkumulatoren auf diesen Punkt zurückkommen.

6. Die nothwendige Geschwindigkeit richtet sich nach der Verwendung des Wagens. Ein Selbstfahrer, der für den Verkehr innerhalb einer Stadt bestimmt ist, braucht keine großen Fahrgeschwindigkeiten zu besitzen, doch muss er wenigstens die Geschwindigkeit haben, die ein von Pferden gezogener Wagen erreichen kann. Ein Selbstfahrer, der für den Verkehr auf Landstraßen bestimmt ist, kann natürlich weit höhere Fahrgeschwindigkeiten besitzen. So erreichten z. B. die Selbstfahrer im Wettfahren Paris—Marseille im Jahre 1896 auch unter ungünstigen Verhältnissen eine Geschwindigkeit von durchschnittlich 35 *km* in der Stunde. Die Regulierung dieser Fahrgeschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen ist nun eine nothwendige Forderung. Diese erfolgt durch Schaltungen an den Motoren sowohl, als auch oft an den Akkumulatoren. Wir wollen bei dieser Gelegenheit auch die Motoren und Akkumulatoren näher besprechen. Die bei Elektromobilen verwendeten Motoren sind Serien-, Nebenschluss- oder Kompoundmotoren. Geradeso wie bei elektrischen Gleichstrombahnen ist jedenfalls der Serienmotor der geeignetste. Doch darf nicht verkannt werden, dass der Nebenschlussmotor eine Reihe von Vorzügen besitzt, die seine Verwendung bei Selbstfahrern empfehlen. Er gestattet beim Bergabfahren eine energische, automatische Selbstbremsung und Rückladung der Akkumulatoren. Die Schaltung auf Kurzschlussbremsung ist weit einfacher als beim Serienmotor. Bei jeder Schaltung hält er die derselben entsprechende Tourenzahl konstant, welches die Belastung auch sein mag. Die Motoren sind gewöhnlich, gleichwie bei den Straßenbahnwagen, federnd aufgehängt, doch wirken, wie wir schon besprochen haben, auch die Luftreifen stoßmildernd. Besitzt der Wagen nur einen Motor, dann kann die Änderung der Tourenzahl des Motors dadurch vorgenommen werden, dass man durch Widerstände die Spannung, an welcher der Motor liegt, verändert, oder indem man parallel zum Feldwiderstande F, siehe Figur 145, einen Widerstand Wf schaltet. Man kann eine Regelung der Geschwindigkeit auch so vornehmen, dass man den Motor mit zwei Ankerwicklungen und mit 2 Kollektoren versieht. Diese beiden Ankerwicklungen können nun parallel oder hintereinander geschaltet werden. Im letzteren Falle beträgt die Geschwindigkeit die Hälfte von der bei der Parallelschaltung der beiden Ankerwicklungen erzielten. Dadurch, dass man überdies sowohl in den Hauptstromkreis als auch parallel zur Feld-

wicklung Widerstände schaltet, kann bei jeder Belastung eine Änderung der Tourenzahl vom einfachen bis etwa zum fünffachen Betrage vorgenommen werden. Figur 146 zeigt die Serienschaltung, Figur 147 die Parallelschaltung der Ankerwicklungen A_1 und A_2. Schließlich können auch bei dem Fahrzeuge zwei Motoren verwendet werden. Der Hauptvortheil der Verwendung von zwei Motoren liegt darin, dass wir das Differentialgetriebe völlig ersparen. Die Änderung der Tourenzahl erfolgt einerseits durch Serien- und Parallelschaltung sowohl der Anker- als der Magnetwicklungen, andererseits durch Verwendung von Widerständen ähnlich wie bei den Straßenbahnwagen mit zwei Motoren.

Eine andere Methode, die Geschwindigkeit von Elektromobilen zu regeln, besteht darin, die Akkumulatorenbatterie in Gruppen zu theilen. Diese Gruppen können nun in Serie geschaltet werden, oder gemischt



Fig. 145.
W_f neben F.

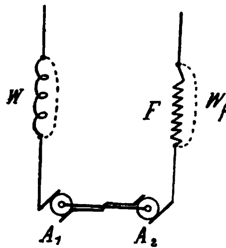


Fig. 146.
Hintereinanderschaltung der Ankerwinkelungen.

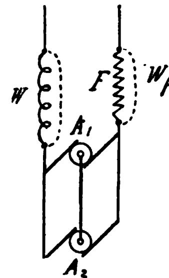


Fig. 147.
Nebeneinanderschaltung der Ankerwinkelungen.

parallel und in Serie, oder schließlich nur parallel. Dadurch wird die Spannung, an der die Motoren liegen, verändert und damit auch ihre Tourenzahl. So einfach wie beim elektrischen Antrieb lässt sich bei keinem auf andere Weise betriebenen Selbstfahrer die Geschwindigkeit regeln, eine Thatsache, welche einen der Hauptvorzüge des Elektromobils ausmacht. Von größter Bedeutung für die Leistungsfähigkeit und Güte des Elektromobils ist die verwendete Akkumulatorenbatterie und speciell deren Gewicht und Kapacität. Mit der Leistung steigt das Gewicht der Akkumulatorenbatterie und dadurch die mitzuführende todte Last. Es ist darum das Bestreben der Akkumulatorenfabriken, Akkumulatoren zu bauen, welche leichter sind, als die in stationären Betrieben verwendeten. Thatsächlich ist es auch, besonders französischen Akkumulatorenfabriken gelungen, solche leichte Batterien herzustellen, leider

haben dieselben jedoch eine geringere Lebensdauer, als die schweren Batterien. Eine solche leichte Batterie nach System Tommasi von der Société Fulmen in Paris gebaut, besteht aus 44 Zellen, besitzt eine Kapacität von etwa 100 Ampèrestunden und ein Gewicht von ungefähr 350 *kg* gegenüber 460—600 *kg* anderer Systeme. Die Batterie hat eine Lebensdauer von etwa $2^1/_2$ Jahren, kostet 2800 Frcs. und lässt eine tägliche Fahrleistung von 60 *km* zu. Diese Batterie genügt für einen viersitzigen Wagen. Das Gesammtgewicht eines besetzten viersitzigen Selbstfahrers beträgt 1500—2000 *kg*. Das Gewicht der Akkumulatorenbatterie beträgt im allgemeinen ungefähr die Hälfte dieses Gewichtes. Aus zahlreichen Versuchen folgt, dass pro Wagenkilometer etwa 130—150 Wattstunden benöthigt werden. Dieser Größe entsprechen ungefähr 200 Wattstunden Ladestrommenge der Batterie. Der Stromverbrauch steigt natürlich beim Befahren einer Steigung sehr wesentlich. So stieg bei einem Versuche in Paris zum Befahren des Mont Valèrien, der eine Steigung von $82^0/_{00}$ besitzt, der Stromverbrauch auf den fünffachen Betrag des Verbrauches beim Fahren auf ebener Bahn.

7. Wenn man die Betriebs- und Erhaltungskosten eines Elektromobils ermittelt, dann thut man am besten, die Höhe derselben in Vergleich zu setzen mit jenen, welche für einen mittels Pferde gezogenen, gleichartigen Wagen gelten, da man sich auf diese Weise am leichtesten ein Bild von der Rentabilität des elektrischen Betriebes machen kann. Wenn sich auch derzeit die Unterhaltungskosten eines elektrischen Wagens im allgemeinen höher stellen, als die eines mit Pferdekraft betriebenen, so ist dabei hervorzuheben, dass das Elektromobil gegenüber dem gewöhnlichen Wagen eine Reihe wesentlicher Vorzüge besitzt, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen, wenn es gilt, die beiden Systeme von Wagen zu vergleichen. So darf z. B. nicht darauf vergessen werden, dass man einem Pferde nie solche Dauerleistungen zumuthen darf, wie einem durch Elektricität betriebenen Wagen. Interessant sind die folgenden von Egger herrührenden Zusammenstellungen der Kosten eines Elektromobils und eines Monatsfiakers, dem billigsten Wiener Fuhrwerke bei dauernder privater Benützung. Alle Zahlen entsprechen den Wiener Verhältnissen.

1. Anschaffungskosten eines Elektromobils:

	K h
Ankauf eines geschlossenen elektrischen Selbstfahrers . .	10000·—
Ankauf eines zweiten, offenen Wechselwagenkastens . . .	1600.—
Equipierung des Führers	200·—
Reservebestandtheile, Diverses und Unvorhergesehenes . .	1000·—
Summe der einmaligen Auslagen	12800·—

2. Betriebskosten pro Jahr:

	K h
Remisenmiethe, Erhaltung und Beleuchtung desselben . . .	300.—
Fahrerlohn *K* 28·—, 52 Wochen	1456.—
Wagenwäscher, sonstige Aushilfe, Schmiermaterial, Putzmaterial u. s. w.	600.—
Stromkosten, 365 Tage à 60 *km* Fahrtleistung, à 200 Kilowattstunden Ladestrom à *K* 0·3.	1444·—
Erhaltung des elektrischen Theiles, exclusive Akkumulatorenbatterie, des Wagens und des zweiten Wagenkastens 3% von *K* 8400.—	252.—
Erhaltung der Akkumulatorenbatterie, 40% von *K* 3200.— . .	1280.—
Erhaltung der Equipierung, 50% von *K* 200.—	100.—
Erhaltung der übrigen Anschaffungen, 10% von *K* 1000.— .	100.—
	1732.—
Amortisation von *K* 12800.— auf 15 Jahre	850.—
Summe der jährlichen Auslagen	6382.—
rund *K*	6400.—

Ein Wiener Monatsfiaker kostet jährlich etwa *K* 5400.—. Es stellen sich also die jährlichen Betriebskosten eines Elektromobils lediglich um *K* 1000.— höher, als die eines Monatsfiakers. Nun ist aber zu bedenken, dass bei geringerer täglicher Fahrtleistung des Wagens die Stromkosten sinken, dementsprechend auch der Betrag für die Erhaltung, so dass man leicht auf den Kostenbetrag eines Fiakers kommen kann. Wollte man sich statt eines Miethfiakers einen eigenen Wagen halten, dann stellen sich die Kosten höher, als beim Elektromobil. Die jährlichen Kosten eines eigenen Fiakers bei Verwendung von 3 Pferden — eines bildet die Reserve — betragen in Wien nach einem Vortrage von Lohner *K* 7056.—, folglich um etwa *K* 660.— mehr, als die eines Elektromobils. Es ist klar, dass sich ein Mieth-Elektromobil billiger stellen wird, als ein eigenes. Es bestehen auch schon in London, Paris und New-York Unternehmungen, welche sich damit befassen, Elektromobile an Privatleute zu vermiethen. Die Aufladung der Batterien unterliegt in Städten, in welchen sich elektrische Centralen befinden, keinerlei Schwierigkeit. Von Wichtigkeit ist es, dass die Akkumulatorenfabriken in neuerer Zeit Schnelllade-Akkumulatoren erzeugen, welche gestatten, in wenigen Minuten mit hohen Stromstärken geladen zu werden. Zur Beurtheilung der Leistungsfähigkeit der Elektromobile dienen Wettfahrten. Wir wollen daran gehen, die Ergebnisse einiger solcher Fahrten mitzutheilen, sowie auch auf einige in letzterer Zeit ausgeführte Wagen hinzuweisen.

Bei der Beurtheilung der Güte eines Elektromobils nach den Ergebnissen eines Wettfahrens müssen im Wesentlichen drei Punkte in Rechnung gezogen werden, nämlich, die Leistung des Motors, die beförderte Personenzahl und die durchschnittliche Geschwindigkeit pro Kilometer, so dass also keineswegs das schnellste Fahrzeug das beste ist. Chauveaux hat darum auch eine Formel aufgestellt, welche auch Ludwig Czischek zur Anwendung empfiehlt, nach welcher ein Koefficient gerechnet werden soll, der für die Güte des Selbstfahrers maßgebend sei. Diese Formel lautet:

$$C = \frac{N}{p \cdot v}.$$

N bedeutet die Motorleistung in PS, p die Personenzahl und v die durchschnittliche Geschwindigkeit in *km* pro Stunde. C bedeutet also den zur Beförderung einer Person auf dem Wege von einem Kilometer nothwendigen Effekt. Je kleiner dieser Wert für einen Selbstfahrer ist, um so mehr leistet er. Im April 1900 veranstaltete der mitteleuropäische Motorwagenverein einen Wettbewerb, bei welchem die Fahrzeuge nach vier Richtungen hin erprobt wurden.

1. In Bezug auf die Bautechnik,
2. in Bezug auf die Betriebstechnik,
3. nach der Betriebswirtschaftlichkeit und
4. nach der allgemeinen Ökonomie. Ein vollkommenes Fahrzeug sollte 50 Punkte erhalten. Der beste Wagen erhielt 41·71 Punkte. Die Gesammtkosten eines Personenwagens betrugen 3700—9000 Mark, die eines Lastwagens 4500—8000 Mark. Die Akkumulatorenbatterie wog im Mittel 75 *kg* für jede *KW*-Std. und kostete für einen Personenwagen 1000—2000 Mark, für einen Lastwagen 1200—2500 Mark. Einige Firmen garantierten für die Batterie 250 Ladungen und Entladungen. Die Unterhaltungskosten der Batterie betragen bei einer jährlichen Leistung von 15000 Kilometern $2^1/_2$ Pfg. pro Kilometer. Ein Personenwagen brauchte bei mittlerer Fahrgeschwindigkeit 57 *W*-Std. und bei größter Geschwindigkeit 84·2 *W*-Std. pro *t/km*. Bei Lastwagen betrugen diese Größen 79 und 84·2 *W*-Std. Die Motoren leisteten rund 1 *KW*-Std. pro 1 *t* rollendes Gewicht. Interessant sind auch die Ergebnisse der Bremsversuche.

Geschwindigkeit	Bremsweg	
17·7 *km*/Std.	3·75 *m*	ebene Bahn, Asphaltpflaster.
18·5 „	5 „	Gefälle, Steinpflaster.

Besonders gute Resultate wies der Selbstfahrer „Le Velo“ der „Loc. des Voitures Electriques et Accumulateurs B. G. S.“ auf. Es

machte 19·2 *km* pro Stde. Das Fahrzeug wiegt 2·3 *t* und enthält 2 Batterien à 44 Zellen. Die Batterien wiegen 1260 *kg*, ihre Kapacität beträgt 320 Amp.-Std. Der Motor arbeitet mit 90 Volt und braucht bei mittlerer Geschwindigkeit 22 *A* in der Ebene und 36 *A* auf Steigungen. Pro *t/km* beträgt der Verbrauch 74 *W*-Std. An dem vom englischen Selbstfahrer-Club veranstalteten Wettfahren vom 6.—9. November 1900 zu Chislehurst betheiligte sich der französische Wagen „The Powerful". Der Selbstfahrer fuhr eine Strecke von 95 *km* mit einer Geschwindigkeit von 17·5 *km* pro Std. Der Wagen, der mit zwei Motoren ausgerüstet war, wog mit 4 Personen belastet 2·5 *t*. Die Batterie bestand aus 60 Lecoll-Akkumulatoren von 270 Amp.-Std. Kapacität und wog 1525 *kg*. Beim Anfahren verbrauchte der Motor 160 *A*, auf ebener Bahn bei einer Geschwindigkeit von 20—24 *km* pro Std. 35 *A*. Bei diesem Rennen fuhr auch ein von der Wiener Firma Lohner gebauter, viersitziger Selbstfahrer mit. Der Wagen wog unbelastet $3^1/_2$ *t*, die Lecoll-Batterie bestand aus 70 Zellen. Der Wagen enthält 4 Motoren à $2^1/_2$ *PS*. Die Motoren besitzen feststeheude Anker und rotierende Feldmagnete. Auf der Pariser Weltaustellung 1900 waren einige Elektromobile ausgestellt, doch betheiligte sich nur das von Riker in Ohio an einem Wettfahren. Der Wagen wog 2·65 *t*, davon entfiel auf die Akkumulatorenbatterie 550 *kg*, auf die Last 1100 *kg*. Der Wagen fuhr mit einer Geschwindigkeit von 11·2 *km* pro Stde. Der Motor lag an einer Spannung von 85 Volt und verbrauchte 35 *A*. Auf 1 *t/km* entfielen demnach 77 *W*-Std. Robert A. Fließ hat vergleichende Versuche angestellt über die Wirtschaftlichkeit von Elektromobilen und mit Pferden gezogenen Wagen zum Zwecke der Gepäckszustellung seitens der großen Warenhäuser in New-York. Die Versuche ergaben, dass man in belebten Straßen mit einer mittleren Geschwindigkeit von 13·7 *km* mit einer Ladung für eine Fahrt von 35 *km* Länge das Auslangen findet. Bei entsprechender Behandlung haben die Akkumulatoren einen Wirkungsgrad von 70%. Der Energieverbauch beträgt pro *t/km* selten mehr als 78·3 *W*-Std.

44. Formeln zur Berechnung und Prüfung von Selbstfahrern (Automobilen)[1])

A. Allgemeines:

Diese Formeln gelten nicht nur für gewöhnliche Straßenbahnselbstfahrer, sondern auch für Lokomotiven jedes Bahnsystems, ausgenommen für diejenigen Lokomotiven oder Motorwagen, die eine beständige Energiezufuhr von außen mittels Schleifkontakten verwenden.

[1]) Walter Kummer, Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, S. 346.

Jeder eigentliche Selbstfahrer ist mit irgend einem die für die Traktion disponible Energie enthaltenden Körper ausgerüstet, den wir kurzweg den Akkumulator des Selbstfahrers nennen wollen. Es lassen sich in elementarer Weise zwischen den Konstanten des Akkumulators, denen des ganzen Selbstfahrers und denen der Bahn Beziehungen aufstellen, welche alle Fragen über Konstruktion und Betrieb von Selbstfahrern theoretisch zu beantworten fähig sind. Um diese Beziehungen übersichtlich darzulegen, führen wir die folgenden Bezeichnungen ein. Es bezeichne:

P das Gesammtgewicht des Selbstfahrers, inclusive Nutzlast in Kilogramm,

p das Gewicht des Akkumulators in Kilogramm.

K_L den Leistungskoefficient des Akkumulators in Wattstunden pro Kilogramm,

K_A den Arbeitskoefficient des Akkumulators in Wattstunden pro Kilogramm,

v die Geschwindigkeit des Selbstfahrers in Kilometer pro Stunde,

T die Fahrzeit des Wagens während einer vollständigen Entladung des Akkumulators in Stunden,

N die Länge der Bahn in Kilometern, die vom Selbstfahrer in T Stunden zurückgelegt wird,

η den Wirkungsgrad des Selbstfahrers, d. h. das Verhältnis der Energie am Radumfang des Selbstfahrers zur Energie an den Klemmen oder Ventilen des Akkumulators,

$s = tg\,a$ die Steigung der Bahn,

f den Traktionskoefficient der Bahn[1]).

Die Koefficienten K_L und K_A des Energiespenders (Akkumulators) sind folgenderweise zu definieren. Bezeichnet L die Leistung des Akkumulators in einem bestimmten Moment, so definieren wir:

$$K_L = \frac{L}{p} \quad . \; . \; . \; . \; (1)$$

Wenn L in Watt und p in Kilogramm angegeben wird, ist K_L in Watt pro Kilogramm ausgedrückt. Bezeichnet A die gesammte Arbeitsabgabe des Akkumulators während seiner vollständigen Entladung in T Stunden, so definieren wir

$$K_A = \frac{A}{p} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

---

[1]) Ernst Egger, Werte für Tractionscoefficienten. Mittheilungen des Vereins für die Förderung des Local- und Straßenbahnwesens, 1896, IV. Jahrgang, 5. Heft.

Wenn A in Wattstunden, p in Kilogramm angegeben wird, so folgt K_A in Wattstunden pro Kilogramm. Zwischen K_L, K_A und T folgt sofort, weil $T = \frac{A}{L}$ ist:

$$T = \frac{K_A}{K_L} \ldots\ldots (3)$$

Ferner ist auch:

$$T = \frac{N}{v} \ldots\ldots (4)$$

Die zur Traktion in einem bestimmten Momente vom Akkumulator abzugebende Leistung L ist nun bekanntlich in Watt ausgedrückt:

$$L = P \, . \, v \frac{f + s}{\eta} \, . \, \frac{9810}{3600} \ldots\ldots (5)$$

Durch Einsetzung von L aus Gl. (1), von v aus Gl. (4) unter Benutzung des Wertes von T aus Gl. (3) folgt:

$$p \, . \, K_A = P \, N \, \frac{f + s}{\eta} \, . \, \frac{9810}{3600}$$

Die Gleichung schreiben wir wie folgt:

$$P \, N = p \, \frac{K_A \, . \, \eta}{f + s} \, . \, 0{\cdot}367 \ldots\ldots (I)$$

Diese Gleichung liefert uns nun bereits jede Auskunft, die wir wünschen. Sie wurde abgeleitet unter der Voraussetzung, dass die Größen $(f + s)$, v und L auf dem ganzen Wege von N Kilometer Konstante seien, und dass außerdem $(f + s) > 0$ sei. Gl. (I) ist ohne Weiteres anwendbar und ausreichend für die Berechnung und Prüfung von Selbstfahren, die auf den gewöhnlichen Straßen verkehren. Betrachtet man die Größen p, K_A, η und $(f + s)$ als Konstante, P und N als Variable, so liefert Gl. (I) den Zusammenhang zwischen den Variablen P und N. Nach Gl. (I) ist P als Funktion von N eine gleichseitige Hyperbel, welche also angibt, wie viel Kilometer weit jedes denkbare Selbstfahrergewicht von einem bestimmten Akkumulator bei bestimmten Bahnverhältnissen befördert werden kann. Die Geschwindigkeit v, mit der diese Beförderung erfolgt, berechnet sich dann aus Gl. (II), welche aus der Gleichsetzung der Gl. (3) und (4) folgt:

$$v = N \frac{K_L}{K_A} \ldots\ldots (II)$$

Durch Gl. (II) wird nun der Koefficient K_L, von welchem K_A abhängig ist, wieder in die Betrachtung eingeführt. Wollte man aber behaupten, es sei K_A eine Funktion von K_L im Sinne der Gl. (3):

$$T = \frac{K_A}{K_L} \ldots\ldots (3)$$

so würde man einen Irrthum begehen, indem nämlich durch Gl. (3) der Begriff des Koefficienten K_L erst definiert wird aus dem Begriff K_A, ganz ebenso wie allgemein der Begriff der Leistung aus dem Begriff der Arbeit zu definieren ist. Der Zusammenhang der Koefficienten K_A und K_L ist vielmehr durch eine Zustandsgleichung, die für jeden Akkumulator eine andere wird, darzustellen und welche wir nur in der allgemeinen Form:

$$K_L = f\ (K_A) \ \ldots\ldots \ (\mathrm{III})$$

geben können.

Bei Betrachtung jeder einzelnen Gattung von Akkumulatoren kann alsdann diese Gleichung explicit geschrieben werden. Die vorliegende Publikation hat in erster Linie die Berechnung und Prüfung der elektrischen Selbstfahrer im Sinne und wir werden den expliciten Ausdruck von Gl. (III) für den Fall elektrischer Akkumulatoren im zweiten Theil dieser Publikation zu verwenden haben. Es möge vorher nochmals dargelegt werden, dass die Gl. (I) (II) (III) uns ermöglichen, die folgenden zwei Hauptaufgaben allgemein zu lösen.

1. Wie muss der Akkumulator beschaffen sein, um einen bestimmten Selbstfahrer auf gegebener Bahn bei vorgeschriebener Last und Geschwindigkeit zu bewegen?

2. Wie muss der Selbstfahrer beschaffen sein, den ein gegebener Akkumulator auf gegebener Bahn mit einer vorgeschriebenen Geschwindigkeit befördern kann?

B. Elektrische Selbstfahrer.

Die im allgemeinen Fall nur implicit darstellbare Zustandsgleichung des Akkumulators nimmt hier eine dem Elektriker wohlbekannte Form an, nämlich

$$K_A \,.\, K_L^n = C \ \ldots\ldots\ \mathrm{III}\,a,$$

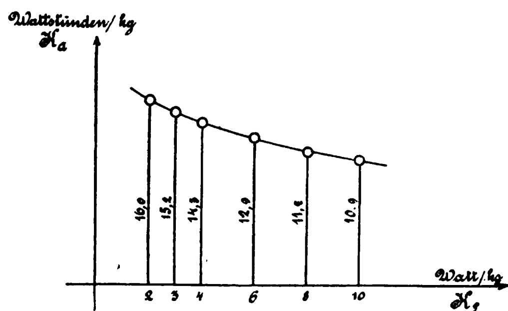


Fig. 148. Zustandskurve eines Akkumulators.

wo n und C Konstante sind. Der Exponent n ist eine gebrochene Zahl von der Größenordnung $^1/_2$ bis $^2/_3$. Gl. (III a) ist der analytische Ausdruck der allbekannten Thatsache, dass die Kapacität eines Akkumulators um so kleiner ist, je größer man die Stromstärke wählt, bei der der Akkumulator entladen wird. Die Gleichung gilt nur unter der Bedingung konstanter Stromstärke während einer Entladung; diese Bedingung ist aber identisch mit der Bedingung konstanter Energieabgabe, welche bei Aufstellung von Gl. (I) schon gemacht wurde.

In der Fig. 148 ist eine empirisch aufgenommene Zustandskurve III a eines modernen Selbstfahrerakkumulators französischer Provenienz dargestellt und gibt die nachfolgende Tabelle die Berechnungsresultate von N und v aus den Gl. (I) und (II) unter der Annahme von:

$$p = 750\ kg;\ P = 2250\ kg;\ \eta = 0{,}70.$$
$$f + s = 0{,}025.$$

Diese Tabelle lautet:

K_L Watt pro Kilogramm	K_A Wattstunden pro Kilogr.	N Kilometer cirka	v Kilometer pro Stunde cirka
2	16·0	55	7
3	15·2	52	10
4	14·3	49	14
6	12·9	44	21
8	11·7	40	27
10	10 0	38	35

Diese Tabelle charakterisiert sehr auffallend den ungeheuren Einfluss, den die Zustandsgleichung (III a) auf das gegenseitige Verhältnis von N und v ausübt.

Für unsere bisherigen Betrachtungen haben wir nun immer vorausgesetzt, dass für die Bahn, auf welcher der Selbstfahrer zu fahren habe, die Größe $(f + s)$ eine Konstante sei. Diese Annahme genügt vollkommen zur Berechnung und Prüfung von Selbstfahrern, die auf den gewöhnlichen unbeschienten Straßen zu verkehren haben; da nämlich solche Selbstfahrer Strecken mit allen möglichen Steigungen und Traktionskoefficienten zu befahren haben, so hat es gar keinen Wert, den Selbstfahrer für eine andere Strecke als eine solche mit konstantem $(f + s)$ zu berechnen und können auch für Strecken mit konstantem $(f + s)$ verschiedene Selbstfahrertypen mit Erfolg verglichen werden.

Für Selbstfahrer auf beschienten Bahnen liegen nun die Verhältnisse anders. Hier hat der Selbstfahrer stets eine und dieselbe Bahn, von ganz bestimmten Eigenschaften zu befahren. In diesem Falle wird man daher den Selbstfahrer oder den Akkumulator so berechnen, dass die Stationen, wo der Akkumulator ausgewechselt wird, möglichst zweckmäßige Lage erhalten. Um einen solchen Fall theoretisch zu untersuchen, gehen wir von einem beliebigen Längenprofil des Bahn-

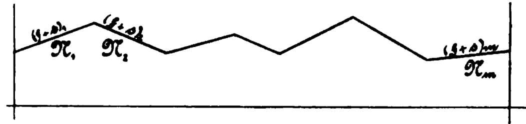


Fig. 149. Längenprofil des Bahntracés.

tracés aus und theilen die gesammte Bahnlänge in m Sektionen ein, für welche die Größen $(f+s)$ jeweilen als Konstante angesehen werden dürfen. Fig. 149 möge ein solches Längenprofil darstellen. Von den m Sektionen seien x, für welche

$$(f+s) > 0$$

ist, und y, für welche

$$(f+s) \overline{\overline{<}} 0$$

ist.

Für eine jede der x-Stationen gelten die angegebenen Gl. (I), (II), (III a) ohne Weiteres. Man hat bloß noch zu berücksichtigen, dass jedem anderen $(f+s)$ auch ein anderes η und ein anderes K_A entspricht. Ist allgemein N_x die Länge in Kilometern irgend einer der x-Sektionen, so kann aus der entsprechenden Gl. (I) berechnet werden:

$$(K_A)_x = N_x \frac{P}{p} \cdot \frac{(f+s)_x}{\eta_x} \cdot \frac{1}{0{\cdot}367} \quad \ldots\ldots \quad (\mathrm{I}')$$

Das aus dieser Gleichung folgende $(K_A)_x$ muss derjenige Akkumulator haben, der einen Selbstfahrer vom Gewichte P auf der betreffenden Sektion befördern soll. Summiert man die K_A, die man für alle diese Strecken x bekommt, so stellt die Summe $\Sigma (K_A)_x$ den specifischen Arbeitskoefficient desjenigen Akkumulators dar, der genügt, um alle x-Strecken befahren zu können. Ja dieser Akkumulator wird auch noch zum Befahren der y-Strecke, auf denen

$$(f+s) \overline{\overline{<}} 0$$

ist genügen. Dabei ist angenommen, dass auf den y-Strecken die überschüssige lebendige Kraft, die der Selbstfahrer infolge der negativen

Steigung erlangt, mechanisch oder elektrisch abgebremst werde. Findet dies nicht statt, sondern benutzt man die Thalfahrt des Selbstfahrers, um den Akkumulator durch den als Generator arbeitenden Motor wieder zu laden, so kann man aus der Formel:

$$(K_A)_y = N_y \cdot \frac{P}{p} \cdot \frac{(f+s)}{\eta_y} \cdot \frac{1}{0{\cdot}367} \quad \ldots\ldots \quad (\text{I}''.)$$

den Arbeitskoefficienten der betreffenden Sektion berechnen, der bei negativen Werte von $(f+s)$ auch negativ ausfällt. Die Summe $\Sigma(K_A)_y$ gibt den Arbeitskoefficienten aller y-Strecken der Thalfahrt und wird eine negative Größe ergeben, um welche die Summe $\Sigma(K_A)_x$ zu verkleinern ist, um den totalen Arbeitskoefficienten $\Sigma(K_A)_m$ zu erhalten, den der Akkumulator besitzen muss, um den gegebenen Selbstfahrer über alle m-Strecken von den Einzellängen

$$N_1,\ N_2 \ldots\ldots N_m$$

und der Totallänge $\Sigma(N)_m$ zu befördern.

In den Formeln (I') und (I'') muss noch bemerkt werden, dass sowohl η_x wie η_y Funktionen von $(f+s)_x$ und $(f+s)_y$ sind. Da $(f+s)$ ein Maß für die abgegebene oder aufgenommene Stromstärke ist, so kann man den Zusammenhang von η und $(f+s)$ durch eine Formel:

$$\eta = c_1\ (f+s) + c_2\ (f+s)^2$$

darstellen, wo die zwei Glieder rechts ungleiches Vorzeichen haben müssen, weil η als Funktion von $(f+s)$ durch ein Maximum hindurchgeht.

Bei praktischer Berechnung wird man auf die Anwendung dieser Formel verzichten und das jedem $(f+s)$ zukommende η an Hand praktischer Erfahrung nach Gefühl in die Formeln (I') oder (I'') einsetzen.

Es bleibt noch übrig, für jede Sektion die ihr zukommende Geschwindigkeit zu ermitteln.

Wo

$$(f+s) > O$$

ist, findet man v nach Formel (II), welcher außer der Kenntnis von K_A, welches wir soeben berechnet haben, auch noch die Kenntnis von K_L verlangt. Es kann hier K_L nicht nach Formel (III_a) gefunden werden, weil K_L hier wesentlich eine Funktion von $(f+s)$ ist. Man darf für

$$(f+s) > O$$

den Zusammenhang von K_L und $(f+s)$ in der Form

$$K_L = c'_1 + c'_2\ (f+s)$$

geben, wo c_1' und c_2' positive Konstante bedeuten. Man wird bei praktischer Berechnung auch hier auf die Anwendung einer Formel verzichten und K_L für jedes $(f+s)$ nach Gefühl festsetzen. Die Ge-

schwindigkeit v, die bei Thalfahrt angewendet wird, darf die Geschwindigkeit für $s = O$ nicht wesentlich übersteigen und wird v daher für alle Strecken, auf denen

$$(f + s) \overline{\overline{<}} O$$

zum Voraus angenommen werden. In enger Beziehung zur Geschwindigkeit v bei Thalfahrt, steht alsdann der Wirkungsgrad η_y der Akkumulatorenladung während der Thalfahrt.

Damit wäre der Gang der Berechnung des Akkumulators für einen Selbstfahrer, das einen normalen Bahnbetrieb zu genügen hat, unter Benutzung der Fundamentalformel (I) angedeutet.

45. Anwendung der Selbstfahrwagen auf vollspurigen Bahnen mit schwachem Verkehr.[1]) Unter Selbstfahrwagen sind hier Motorwagen und Selbstfahrer (Automobile) in Betracht gezogen.

Der elektrische Selbstfahrwagen der belgischen Staatsbahnen. ist bestimmt, an Stelle der Omnibuszüge zu treten, die ausschließlich den Personenverkehr besorgen. Gegenwärtig stehen 5 Wagen dieser Art im Betriebe. Jeder Wagen ruht auf zwei Drehgestellen mit vier Rädern von 98 *cm* Durchmesser, der Wagenkasten ist 16 *m* lang, hat an jedem Ende ein Abtheil für den Wagenführer und einen Raum für die elektrischen Sammler, weiter ein Abtheil mit 30 Sitzen II. Classe und ein Abtheil mit 36 Sitzen III. Classe; auf der Plattform sind 12 Stehplätze; der Wagen braucht nicht gewendet zu werden. Das Gewicht eines Wagens beträgt 46 *t*, wovon 12 *t* auf die Sammler, 9·5 *t* auf die Motoren entfallen. Die Beleuchtung der Signale erfolgt mit Öllampen. Die Wagen können bei den gewöhnlichen Zügen auch als Anhängewagen Verwendung finden.

Es sind zwei Motoren vorhanden, die koncentrisch und federnd auf den inneren Achsen der Drehgestelle angebracht sind und eine Arbeit von 75 Kilowatt $= \frac{500 \text{ Volt} \times 150 \text{ Ampère}}{1000}$ liefern. Sie sind vierpolig und in Reihen gekuppelt. Die Sammler, deren Zahl 264 beträgt, sind in vier Kästen untergebracht, die derart über den Drehgestellen symmetrisch angeordnet sind, dass letztere unmittelbar ihr ganzes Gewicht aufnehmen. Diese Anordnung erleichtert ganz außerordentlich die Hantierung mit den Sammlern, die aus Zellen zu sieben Platten von 300×300 mm^2 Fläche bestehen. Die positiven Platten sind 8 *mm* stark und nach System Planté ausgeführt; sie haben befriedigende Resultate geliefert. Die negativen Platten sind 4 *mm* stark. Die Kapacität für 1 *kg* Plattengewicht kann 9 Ampèrestunden erreichen

[1]) Vgl. Zeitung d. V. D. E. V. 1900, Nr. 28.

und beträgt im Mittel 5—6 Ampèrestunden. Beim Anfahren ist die Stärke des Stromes 180 Ampère bei 520 Volt auf ebener Bahn bei geringer Geschwindigkeit jedoch 50—60 Ampère bei 500 Volt. Die Batterie gestattet, 100—150 *km*, mit Aufenthalten nach je 5 Minuten unter Anwendung einer Reisegeschwindigkeit von 30 *km*/St. auf Strecken mit günstigen Neigungs- und Krümmungsverhältnissen zurückzulegen. Die mittlere Ladedauer der Akkumulatoren ist 6—8 Stunden bei 40—70 *A* Ladestromstärke. Die elektrischen Einrichtungen der Wagen sind nicht durchwegs gleich, beruhen aber auf denselben Grundsätzen. Jeder Wagen trägt eine Pfeife und eine Westinghouse-Bremse, welcher ein elektrischer Motor und eine Pumpe — beide vorzüglich gebaut — die Luft von 5 Atmosphären Druck liefern. Der Motor bewegt eine Pumpe mit zwei Kolben und verbraucht im Mittel 7 Ampère Strom bei 500 Volt Spannung. Motor und Pumpe befinden sich unter dem Drehgestell an einem Ende des Wagens und ersterer setzt sich selbstthätig in Gang, sobald der Luftbehälter sich zu leeren beginnt.

Die Wagen auf der italienischen Mittelmeerbahn laufen auf der Linie von Mailand nach Monza, sie sind nach amerikanischen Vorbildern gebaut; ihr 17·80 *m* langer Kasten ruht auf zwei Drehgestellen; an jedem Ende befindet sich eine gedeckte Plattform, von der aus der Zutritt in das Wageninnere erfolgt. Der Wagen fasst 90 Reisende bei 64 Sitzplätzen; das Gewicht desselben ist leider nicht angegeben. Die elektrischen Sammler, welche den Betriebsstrom für den Wagenmotor und die Pumpe der Westinghouse-Bremse liefern, sind in zwei Reihen zu je 65 Elementen unter dem Wagenkasten untergebracht; jedes Element besteht aus 23 Platten von je 170×130 mm^2 Fläche. Eine zweite kleinere Batterie speist die Wagenlampen.

Die zwei vierpoligen Motoren sind auf die äußeren Wagenachsen gut federnd aufgesetzt; nähere Angaben über ihre Leistungsfähigkeit fehlen.

Es wird nur mitgetheilt, dass der Wagen mit einer Geschwindigkeit von 43·3 *km*/Std. verkehren und mit einer Ladung einen Weg von 78 *km* durchlaufen kann.

Die französische Nordbahn hat Versuche unternommen, mit einem elektrischen Wagen, der ausschließlich zur Beförderung von Postsendungen bestimmt ist. Sollte sich das Bedürfnis ergeben, auch Reisende zu befördern — obwohl wegen der für Personenverkehr ungünstigen Fahrordnung dies nicht zu erwarten ist —, so werden diesen Motorwagen Anhängewagen beigegeben, die gegebenen Falles auch zur Güterbeförderung dienen können.

Der elektrische Wagen ist zweiachsig und wiegt dienstbereit 20 *t*. Den elektrischen Strom liefert eine Sammelbatterie, die zum Theile

in einen Kasten unter dem Wagen zwischen den Achsen, zum Theile in zwei Behältern auf dem Wagendache links und rechts vom Wagenführer untergebracht ist. Jede Achse wird von einem vierpoligen Motor bewegt. Die Sammlerbatterie besteht aus 132 Elementen zu 25 Platten von 122 × 250 mm^2 Flächenausmaß mit einer Kapacität von 190 Ampère bei 230 Volt. Die ganze Batterie wiegt 5·8 *t*. Die Abtheile des Wagens, wie auch die Signale werden elektrisch beleuchtet.

Die Motoren und die Batterie sind für eine Fahrgeschwindigkeit von 50 *km*/St auf wagrechter Bahn berechnet; hierbei wurde ein Widerstand auf gerader wagrechter Bahn 10 *kg*/*t* angenommen und eine gleichförmige Steigung von 4‰ vorausgesetzt. Unter diesen Bedingungen beträgt die Zugkraft 280 *kg* und die zu entwickelnde Nutzarbeit 4080*kg*/*m*; daraus ergibt sich ein elektrischer Kraftverbrauch von 47.000 Watt. Mit einer Füllung der Batterie können bei 12 Aufenthalten und ebenso vielen Anfahrten 120 *km* zurückgelegt werden.

46. Elektrischer Betrieb auf Vollbahnen. Die wichtigsten Fälle, in welchen der elektrische Betrieb auf Vollbahnen vortheilhaft erscheint, sind:[1])

1. Wenn zur Beförderung geringer Lasten die Benutzung einer gewöhnlichen Dampflokomotive durchaus unwirtschaftlich ist.

2. Wenn Verhältnisse vorliegen, welche denen des städtischen und Nahverkehres gleichen.

3. Wenn besondere Umstände — binnenstädtische Bahnstrecken, Tunnelstrecken — dazu zwingen, auf Verwendung von Dampflokomotiven wegen der Rauch- und Funkenbelästigung oder der Luftverschlechterung zu verzichten.

Zur ersten Gruppe gehören die Anwendungen der Elektricität auf den pfälzischen Vollbahnstrecken Ludwigshafen—Neustadt (37 *km*) und Ludwigshafen—Worms (22 *km*), wo zur Befriedigung des Bedürfnisses häufigerer Verkehrsgelegenheit für Personen zwischen den von Dampflokomotiven gezogenen Hauptzügen Akkumulatoren-Selbstfahrerzüge eingelegt sind, die aus einzelnen vierachsigen Drehgestellwagen von 106 Sitzplätzen bestehen, also bei 45 *km* Stundengeschwindigkeit eine Zugleistung von solcher Geringfügigkeit beanspruchen, dass die Beschaffung derselben durch eine Vollbahnlokomotive sich wirtschaftlich nicht rechtfertigen ließe. Genau so liegt es bei den

---

[1]) Vgl. Ztg. d. V. D. E. V. 1900, Nr. 22.
Siehe auch Julius Spängler, Versuche über den elektrischen Betrieb auf einigen Hauptbahnen in Deutschland. Zeitschrift des öst. Ingenieur- und Architektenvereines. 1901.

gleich gebauten Akkumulatoren-Selbstfahrern auf einzelnen Linien der württembergischen Staatsbahnen, ähnlich auch bei dem elektrischen Betrieb auf der Vollbahnlinie Mailand—Monza, der irgendwie Neues im Sinne unserer Frage nicht liefert, sondern uns hier nur insoferne interessiert, als von den 58 *t* Gewicht des Wagens, 17 *t* auf die Akkumulatoren entfallen, d. i. etwa $^2/_7$.

Die zweite Gruppe umfasst Fälle, wie sie auf der Wannseebahn bei Berlin und auf der Berliner Stadtbahn vorliegen und in denen die wirtschaftliche Überlegenheit des elektrischen Betriebes wohl außer Zweifel steht. Beide Bahnen weisen bei geringer Gesammtstreckenlänge zahlreiche Haltestationen, dichte Zugfolge, verhältnismäßig kurze Züge auf. Für die Wannseebahn erfolgte die Eröffnung des elektrischen Betriebes allerdings erst am 1. April v. J., für die Berliner Stadtbahn ist sie noch im weiten Felde, da die Ausführung des Entwurfes der Berliner Union-Elektricitätsgesellschaft in nächster Zeit kaum zu erwarten ist. Desselben musste aber aus dem Grunde hier Erwähnung geschehen, weil die Verhältnisse typisch sind für die Entfaltung der Vorzüge des elektrischen Betriebes, wie in dem Entwurfe überzeugend nachgewiesen ist. Auch die Schweizer Bahnstrecke Burgdorf—Thun mit 41 *km* Gesammtlänge und 13 Haltestationen ist hierher zu rechnen. Für solche besonderen Verhältnisse erscheint es auch angebracht, einen vorwiegend aus Motorwagen bestehenden, also kostspieligen Fahrzeugpark zu beschaffen.

In der dritten Gruppe finden wir einen Vollbahnbetrieb vertreten, wie wir ihn zur Umgrenzung unserer Aufgabe oben erläutert haben. Das ist der Fall auf der Baltimore Ohiobahn in Nordamerika und auf der Einführungsstrecke der Orléansbahn in einem der schönsten Stadttheile von Paris. Auf der erstgenannten Bahn werden Vollbahngüterzüge in ganzer Stärke mittelst elektrischer Lokomotiven von 1400 *PS* Leistungsfähigkeit, die ihre Energie von blanken Leitern entnehmen, durch eine Tunnelstrecke von 5850 *m* Länge gezogen; auf der Orléansbahn, welche bei den Amerikanern ihre Studien gemacht hat, handelt es sich um eine 3700 *m* lange Strecke in der Stadt Paris, wovon 3100 *m* unterirdisch geführt sind.

Die betheiligten Kreise sind durch die bisherigen sehr beschränkten Erfolge und Aussichten des elektrischen Betriebes auf Vollbahnen nicht entmuthigt und nicht abgebracht von der Ueberzeugung, die Elektricität sei berufen, für die Zugförderung auch im Fernverkehr zukünftig eine besondere Rolle zu spielen. Beide Ereignisse zeigen uns kühne Zukunftspläne. Man ist nach den bisherigen Erfahrungen zu der Erkenntnis gekommen, dass auf den vorhandenen Vollbahnen der elektrische Betrieb

allerdings vor dem Betriebe mit Dampflokomotiven keine ausschlaggebenden Vortheile zu bieten vermag, dass vielmehr die unbestrittenen Vorzüge des ersteren nur bei Geschwindigkeiten zur Geltung kommen können, welche die Dampflokomotive voraussichtlich nicht zu leisten vermag, welche aber auf den gegenwärtigen Vollbahnen mit ihren gesammten baulichen Anlagen, Neigungs- und Krümmungsverhältnissen zahlreichen Wegeübergängen in Schienenhöhe, zahlreichen Haltestationen und Weichen, vielfach nach unvollkommenen Sicherungsanlagen mit ihren jetzigen Betriebsverhältnissen, die häufige Überholungen bedingen, und mit den vorhandenen Betriebsmitteln nicht ausführbar sind.

Die Verwendung von Akkumulatoren für Bahnzwecke ist bereits eine weit ausgebreitete. Einige neue Konstruktionen aus gerolltem Bleiblech (Majert, Monobloc), mit welchem die belgischen Staatsbahnen gute Erfolge erzielt haben, ermöglichen eine maschinelle Herstellung der Platten.[1])

47. Elektrische Vollbahnen. Nachdem der elektrische Betrieb bei Straßenbahnen sich bewährt hatte, gieng man daran, den elektrischen Antrieb auch bei Fernbahnen anzuwenden. Die Vortheile eines solchen Betriebes sind zahlreich. Wir wissen, dass die Dampflokomotive deshalb so schwer gebaut werden muss, weil das Adhäsionsgewicht, das ist das auf den angetriebenen Achsen ruhende Gewicht eines Zuges eine gewisse Größe haben muss, damit die Lokomotive imstande ist, den Zug auf den Schienen vorwärts zu bewegen. Bei elektrischen Bahnen nun kann durch Anbringung von Motoren in jedem Wagen, die von einem Führerstande aus reguliert werden, die Adhäsionslast auf den ganzen Zug vertheilt werden. Nachdem wir dadurch keine schwere Lokomotive brauchen, kann der ganze Bahnkörper leichter gebaut werden. Dieser Umstand ist für unsere Bahnen von größter Wichtigkeit. Die bestehenden Eisenbahnoberbauten erlauben nämlich im allgemeinen keine wesentliche Steigerung der Verkehrsschnelligkeit mehr. Wenn nun der Betrieb elektrisch eingerichtet wird, dann bleibt der Oberbau, und wir können trotzdem weit größere Geschwindigkeiten zulassen, was ja auch das Bestreben der Eisenbahntechniker ist. Es hat sich beim Eisenbahnbetrieb ferner gezeigt, dass der Personenverkehr die Einstellung zahlreicher in kürzeren Intervallen verkehrenden Züge fördert, im Gegensatze zum Lastenverkehr, der bei Verwendung von großen, in langen Intervallen verkehrenden Zügen sich am besten rentiert. Beim elektrischen Betrieb kann man nun leicht kleine, aus zwei oder drei Wagen zusammengestellte Zugsgarnituren für

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1901, S. 3.

den Personenverkehr verwenden, was bei Verwendung von Dampflokomotiven nicht möglich wäre, außer mit Hintansetzung der Forderung einer genügenden Rentabilität. Es hat sich auch gezeigt, dass die Betriebskosten eines Zuges, der auf einer Steigung von mehr als 1 : 40 fährt, kleiner ausfallen beim elektrischen Betrieb. Die Beanspruchung des Bahnkörpers bei elektromotorischem Betrieb ist eine bei weitem geringere als beim Dampfbetrieb. Der ganze Antriebsmechanismus der Dampflokomotive, die Einrichtungen um die hin- und hergehende Bewegung des Dampfkolbens in eine rotierende zu verwandeln, erzeugen das für den Bahnkörper so schädliche Schlingern und Stampfen der Dampflokomotive. Bei Anwendung des Elektromotors, der direkt die rotierende Bewegung liefert, fällt natürlich dieser Übelstand fort. Ein elektrisch betriebener Zug braucht, um auf die volle Geschwindigkeit zu kommen, bedeutend weniger Zeit, als ein mittelst Dampfkraft betriebener Zug. Dadurch allein schon wird die Betriebsschnelligkeit einer Bahn wesentlich gefördert. Ein nicht zu unterschätzender Vortheil des elektrischen Betriebes ist der, dass jeder Zug sofort dienstbereit steht. Ein einziger Griff an einem Schalthebel und er setzt sich in Bewegung. Man erspart also die so mühseligen, Zeit und Geld verschlingenden Vorbereitungen der Lokomotive vor Beginn der Fahrt. Die Erzeugung der Kraft für den gesammten Bahnverkehr kann bei elektrischem Antrieb in einer oft viele Kilometer und vielleicht durch Wasserkraft getriebenen Centrale vorgenommen werden. Es ist klar, dass der Wirkungsgrad einer centralisierten Krafterzeugung, bei weitem größer ist, als der Wirkungsgrad bei einer derart getheilten Krafterzeugung, wie sie beim Dampflokomotivenbetrieb stattfindet. Für den elektrischen Vollbahnbetrieb kommen zwei Betriebsarten in Betracht:

1. Der Antrieb mittelst Adhäsions-Elektrolokomotiven und
2. die Verwendung von Motorwagen.

Die Vortheile der Adhäsionselektrolokomotive gegenüber den Dampflokomotiven liegen klar zu Tage. Die Bewegung ist eine gleichförmige, der Wirkungsgrad des Betriebes ein hoher, die Lokomotive erzeugt keinen Lärm und keinen Rauch, das Betriebspersonal der Lokomotive verringert sich.

Die Elektrolokomotiven können nach dreierlei Principien gebaut werden.

1. Die Lokomotive erzeugt die zum Betriebe der Motoren nothwendige Elektricität selbst. Solche Konstruktionen sind die Heilmann-Lokomotive und die Patton-Lokomotive.

2. Die Lokomotive führt ihre Betriebskraft in Akkumulatorenzellen aufgespeichert mit sich.

Diese Einrichtung zeigt die Melun-Lokomotive.

3. Der Betriebsstrom wird der Lokomotive durch Ober- oder Niveauleitungen zugeführt.

Die Heilmann-Lokomotive, eine französische Konstruktion, besitzt in ihrer ersten Ausführungsform als Generatoranlage einen Kessel, eine liegende Zweicylinderdampfmaschine von 600 *HP* bei 300 Umdrehungen pro Minute, eine Außenpoldynamo für Gleichstrom von 400 Volt Spannung und eine Erregerdampfdynamo für 50 Volt Spannung. Der Wagen besitzt zwei vierachsige Drehgestelle. Jede Achse trägt einen Motor. Die Lokomotive vermochte einen Zug von 70—80 *t* Gewicht mit einer Geschwindigkeit von 90—100 *km* in der Stunde zu befördern. Die neuere Ausführungsform der Lokomotive besitzt als Kessel einen gewöhnlichen Lokomotivkessel, als Dampfmaschine eine Willans-Maschine mit 6 Kurbeln. Ferner besitzt die Lokomotive zwei sechspolige Gleichstromdynamos, als Erregermaschine dient eine besondere Nebenschlussdynamo, welche durch eine zweigliedrige Willans-Maschine getrieben wird. Die Patton-Lokomotive ist eine Kombination des Heilmannsystemes mit dem Akkumulatorensystem. Als Betriebsmotor dient ein Gasmotor, bei der neuen Ausführungsart ein Gasolinmotor. Als Dynamo dient eine Nebenschlussmaschine. Die Akkumulatoren haben den Zweck, sowohl überschüssige Arbeit aufzuspeichern, als auch einen Ausgleich der ungleichen Arbeitsleistung des Gasmotors herbeizuführen. Bei Stillstand und bei der Fahrt mit geringerem Kraftbedarf werden die Akkumulatoren geladen. Die Akkumulatorenlokomotive, welche auf der Strecke Paris-Melun fährt, ist ein Beispiel der dritten Konstruktionsart von elektrischen Lokomotiven. Die Akkumulatoren sind theils im Lokomotivwagen, theils in einem besonderen Wagen untergebracht. Die Lokomotive besitzt drei Achsen, von denen die beiden hinteren durch Motoren angetrieben werden. Auf dem Wagen befindet sich noch ein Flüssigkeitsanlasswiderstand, ein von einem Elektromotor angetriebener Konpressor zur Erzeugung der Druckluft für die Westinghouse-Bremse. Die dritte Art elektrischer Lokomotiven findet bei der Baltimore- und Ohiobahn und bei der Londoner Untergrundbahn erfolgreiche Anwendung. Die Lokomotive besitzt vier gekuppelte Achsen. Auf der Lokomotive befinden sich vier Motoren, welche mit den Achsen direkt verbunden sind. Meist wird diese Art von Lokomotiven heutzutage in Bahnhöfen als Rangierlokomotive verwendet.

Wir gehen nun zur Betrachtung der Vollbahnen über. Die erste elektrische Vollbahn war die am 6. Juli 1895 eröffnete Nantasket-Bahn in Amerika, welche theils oberirdische Stromzuführung, theils seitliche Niveauleitung besitzt. Die Betriebsspannung der Bahn beträgt

600—700 Volt. Die erste elektrische Vollbahn Europas ist die Eisenbahnlinie zwischen Meckenbeuren und Tettnang in Württemberg, welche sich seit dem 3. December 1895 im Betriebe befindet. Die jüngste Vollbahn in Deutschland ist die Wannseebahn. Der erste und der letzte Wagen sind Motorwagen. Der Führer hat seinen Standpunkt immer an der Spitze des Zuges und reguliert sämmtliche Motoren mittelst einer den Zug entlang laufenden flexiblen Welle. Die Endachsen jedes Motorwagens tragen einen Elektromotor. Im ganzen besitzt jeder Zug vier Motoren. Die Stromzuführung erfolgt durch eine neben den Geleisen führende Leitungsschiene. Die Stromabnehmer sind gusseiserne Gleitschuhe, die mit der Achsbüchse direkt verbunden sind. Die Verlängerungsstrecke der Orleansbahn nach dem Innern von Paris ist auch mit elektrischem Betriebe ausgestattet worden. Der Betrieb durch den Mont-Cenis-Tunnel soll in Zukunft auch elektrisch eingerichtet werden. Es besteht noch eine ganze Reihe anderer ähnlicher Anlagen und Projekte und es ist nicht daran zu zweifeln, dass der elektrische Vollbahnbetrieb sich immer mehr und mehr ausbreiten und dem Dampflokomotivbetrieb die erfolgreichste Konkurrenz machen wird.

48. Stromzuführung für Vollbahnen. Wir haben schon bei den im vorhergehenden Kapitel besprochenen Vollbahnen die verschiedenen Arten der Stromzuführung erwähnt. Wir wollen uns nun mit diesen etwas näher befassen. Der elektrische Strom kann einer Vollbahn auf zwei verschiedene Arten zugeführt werden. 1. Mittelst Hochleitungen und 2. mittelst Niveauleitungen. Die Hochleitungen sind in ihrer Ausführung bei Vollbahnen von denen bei Kleinbahnen unterschieden. So z. B. führt die Allgemeine Elektricitätsgesellschaft in Berlin die Oberleitung doppelt aus, um einerseits trotz nothwendigem größeren Leitungsdrahtquerschnitt eine elastische Leitung zu erhalten, andererseits um einen sicheren Kontakt zwischen Fahrleitung und Stromabnehmer zu erzielen. Der Stromabnahmeapparat besitzt zwei walzenförmige Bügel. Eine andere Art der Ausführung der Fernleitung von Seiten der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft ist die folgende. Die Oberleitung wird zweipolig gemacht und mittelst dreier Drähte ausgeführt. Der mittlere Draht dient als ein Pol, die beiden äußeren Fahrdrähte als zweiter Pol. Zur Stromabnahme werden drei Schleifbügeln aus Aluminium benützt. Die Oberleitung der Baltimore-Ohio-Bahn besteht, wegen der großen hier fortzuleitenden Strommengen aus zwei Z-Eisen, die an Deckplatten durch Nietung befestigt sind. Der Stromabnehmer hat die Form eines Weberschiffchens und lauft in einem Hohlraum, der durch die zwei Z-Eisen gebildet wird. Die Niveauleitung erscheint derart ausgeführt, dass neben

oder zwischen dem Geleise eine stromleitende Schiene liegt, von welcher der Strom mittelst eines gusseisernen Schuhes abgenommen wird. Die Fahrschienen dienen als Rückleitung. Die erste derartige Anordnung wurde bei der Nantasket-Bahn getroffen. Zur Vermeidung von Kurzschlüssen wird die Leitungsschiene gewöhnlich durch eine Verschalung aus Holz geschützt, wie z. B. bei der Wannsee-Bahn in Berlin. Wo keine Gefahr vorhanden ist, dass eine Berührung dieser Leitungsschiene erfolgen kann, wird die Schiene frei gelassen, welche Anordnung man bei der erst jüngst eröffneten Metropolitain-Bahn in Paris beobachten kann. Die Montage dieser Schiene geschieht natürlich möglichst vollkommen isoliert, gewöhnlich auf mit Paraffin getränkten Holzklötzen. Bei Kreuzungen muss die Kontaktschiene unterbrochen werden. Die Einrichtung ist darum so getroffen, dass der Motorwagen zwei hintereinander befindliche Kontaktschuhe besitzt, die in einer solchen Entfernung montiert sind, dass immer wenigstens ein Schuh auf der Schiene schleift. Eine besondere Einrichtung zeigt der Kontakt bei Schnellbahnen. Ein solcher Kontakt wurde von Schiemann vorgeschlagen. Bei solchen Bahnen würde sich der gleitende Kontakt entschieden nicht bewähren, weil die Reibung zwischen Schiene und Kontakt eine viel zu große wäre und dementsprechend auch die Abnützung und die Funkenbildung. Bei der Schiemann'schen Konstruktion besteht der Stromabnahmeapparat aus Stromabnehmerrädern, die auf den Achsen der Wagen lose montiert sind. Klar ist es, dass für Fernbahnen die Niveauleitung mittelst dritter Schiene entschieden besser ist als die Oberleitung, speciell aus dem Grunde, weil die Instandhaltung einer Oberleitung auf der freien Bahnstrecke mit ungleich mehr Schwierigkeiten verbunden ist, als die einer Niveauleitung.

Am Schlusse dieses Kapitels sei als Quelle über elektrische Bahnen das Street Railway Journal, New-York besonders hervorgehoben.

III. Kapitel.

Die Kosten der elektrischen Licht- und Kraftanlagen.

I. Übersicht.

49. Kosten der elektrischen Anlagen. Da die besonderen örtlichen Verhältnisse jeder Anlage für die Kosten der Einrichtungen maßgebend sind, sollen hier nur allgemeine Angaben und praktische Regeln Erwähnung finden, welche es Jedermann gestatten, sich in jedem

besonderen Falle ein übersichtliches Bild der Kosten jeder Anlage zu entwerfen.

Die Kosten der elektrischen Einrichtungen sind:

1. Anlagekosten, u. zw.:
   a) Anlage.
   b) Montage.
2. Betriebskosten, u. z.:
   a) Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitales, Gehalt des Betriebspersonales.
   b) Verbrauch an Wasser, Kohlen, Gas, Petroleum u. s. w., an Wasser zum Speisen, Kühlen oder Kondensieren, an Schmieröl und Putzmateriale, Verbrauch an Glühlampen, Kohlen für Bogenlampen und Reparatur und Ersatz einzelner Einrichtungsstücke.

II. Durchschnittspreise der elektrischen und motorischen Einrichtung.

1. Durchschnittspreise der elektrischen Einrichtung.

50. Preise von Dynamomaschinen und Elektromotoren. Die Einheitspreise (Preise für je 100 Watt) und Größen der Dynamo- und Elektromotoren fallen mit der Größe und mit den zunehmenden Umdrehungszahlen derselben in einem rascheren Verhältnis, als die Einheitspreise (Preise für 1 *HP*) und Größen der Dampfmaschinen-, Gas- und Petroleummotoren. Maschinen mit Riemenantrieb sind theurer, als Maschinen mit direkter Kuppelung. Wechselstrommaschinen und Motoren stellen sich im Preise höher als Gleichstrommaschinen und Motoren.

Tabelle.

Preise von Gleichstrommaschinen mit Riemenantrieb.

Maximalleistung in Watt	Umdrehungen in 1 Minute	Gewicht in *kg*	Preise in Mark
800	2000	140	400
1600	1000	200	600
3000	900	350	900
5000	800	520	1300
8000	750	600	1670
11000	750	800	2000
16000	700	1400	2500
22000	700	1900	3000
27000	650	2200	3670
38000	650	2500	5500
50000	600	4000	6700
80000	600	6000	9000

Tabelle.

Preise von kleinen Gleichstrommotoren.

Leistung in *HP*	Erforderliche Watt	Umdrehungen in 1 Minute	Preis in Mark
$^1/_{10}$	140	2200	167
$^1/_5$	280	2000	250
$^1/_2$	650	1500	340
1	1100	1200	420

Die Preise der Elektromotoren sind annäherd dieselben, wie jene der Dynamo gleicher Leistungen.

Tabelle.

Preise von Wechselstrommaschinen mit Riemenantrieb.

Maximale Leistung in Watt	Umdrehungen in der Minute	Gewicht in *kg*	Preis in Mark
1500	400	1000	720
3000	400	3500	900
7000	350	5000	1500
15000	250	10000	2000
30000	100	30000	2600

Die Wechselstrommotoren haben die gleichen Preise wie die Wechselstrommaschinen derselben Leistung. Die Maschinen mit Riemenantrieb stellen sich etwa 10% theuerer als die Maschinen mit direktem Antriebe (Dampfdynamo).

51. Preise von Wechselstromtransformatoren. Den Angaben sind kreisförmig geschlossene Transformatoren zugrunde gelegt.

Tabelle.

Preise von Wechselstromtransformatoren.

Leistung in Watt	Gewicht in *kg*	Preis in Mark
1200	50	450
3000	90	550
5000	120	700
10000	180	1100
20000	280	1500

52. Preise von Sammlern. In der folgenden Tabelle sind Mittelwerte der in der elektrotechnischen Industrie zumeist vertretenen Sammler angegeben.

Tabelle.
Preise von Sammlern.

Kapacität in Ampère-Stunden	30	60	90	120	160	250	350	550	700	900
Preis 1 Zelle für 1 Ampère-Stunde in Pf.	60	55	45	40	40	39	37	37	37	37

53. Preise von Bogenlampen. Die Preise von Bogenlampen ändern sich hauptsächlich, außer mit der verschiedenen Ausstattung, mit der Schaltung derselben.

Serien- und Nebenschlusslampen stellen sich zumeist niedriger im Preise als Differentiallampen.

Lampen mit festem sind theuerer als solche mit veränderlichem Lichtbogen.

Die Preise der Differentialbogenlampen stellen sich etwa um 50% höher, als die Preise der Serien- und Nebenschlussbogenlampen.

Tabelle.
Preise von vollständigen Nebenschlussbogenlampen für Gleich- und Wechselstrom.

Stromstärke in Ampère	Brenndauer in Stunden	Preis in Mark
2 bis 5	6	100
5 „ 10	8	130
10 „ 15	10	150
15 „ 20	12	165

54. Preise von Glühlampen. Die Preise der Glühlampen sammt Zugehör hängen insbesondere von der Betriebsspannung ab. Zumeist findet die Glühlampe zu 16 *NK* praktische Verwendung. Eine hochwattige Lampe zu 100 Volt, 0·5 Ampère und 800 Brennstunden kostet etwa 1 Mark, eine niederwattige Lampe zu 100 Volt, 0·388 Ampère und 250 Brennstunden dagegen 1·75 Mark. Die Glühlampen zu 150 Volt sind beiläufig doppelt so theuer als jene zu 100 Volt und gleicher Normalkerzenzahl. Lampen für höhere Normalkerzenzahlen, sowie Lampen für Hintereinanderschaltung haben höhere Preise als Lampen für niedrigere Normalkerzenzahlen, sowie Lampen für Nebeneinanderschaltung.

Eine Glühlampenfassung ohne Ausschalter stellt sich auf etwa 1 Mark, eine solche mit Ausschalter auf etwa 2 Mark.

55. Preise von Rheostaten. Die in der Starkstromelektrotechnik zumeist in Gebrauch stehenden Rheostate sind die Hauptstrom- und Nebenschlusswiderstände in Licht- und Kraftanlagen und die Vorschaltwiderstände. Die Nebenschlusswiderstände dienen zur Regulierung des magnetischen Feldes der Nebenschluss- und Kompoundmaschinen.

Tabelle.

Preise der Nebenschlusswiderstände.

Leistung der Dynamo in *HP*	Preis des Nebenschlusswiderstandes in Mark
1 bis 2	45
3 „ 20	80
20 „ 40	100
60	150
90	200

Ein Vorschaltwiderstand aus Neusilberspiralen auf einem Eisenrahmen oder einer Porzellanrolle u. s. w. für 10 Ampère kostet etwa 20 Mark. Vorschaltwiderstände, welche mit Einrichtungen zur Einstellung verschiedener Widerstände von Hand oder mit Ausschaltern oder Sicherungen versehen sind, stellen sich entsprechend höher im Preise.

56. Preise von Messinstrumenten. Von den Messinstrumenten sollen hier hauptsächlich die Strom- und Spannungszeiger, sowie die Elektricitätszähler Berücksichtigung finden. Die Kosten der Stromzeiger steigen mit der Ampèrezahl, die Kosten der Spannungszeiger und Elektricitätszähler mit der Voltzahl Hohe Spannungen bedingen einen hohen Widerstand der Instrumente, also viel Draht und eine besondere Isolation. Hohe Widerstände verursachen, infolge des hohen Preises dünner isolierter Drähte, verhältnismäßig große Herstellungskosten. Durchschnittspreise obiger Instrumente gibt die folgende Tabelle wieder.

Tabelle.

Preise von Messinstrumenten.

Messinstrument	Preis in Mark
Spannungszeiger bis 100 Volt	60
„ „ 200 „	80
Zusatzwiderstand für 1 Spannungszeiger v. 200—500 Volt	60
Stromzeiger bis 80 Ampère	60
„ „ 300 „	80
„ „ 600 „	100
Elektricitätszähler System Aron bis 12 Ampère .	140
„ „ „ „ 25 „ .	150
„ „ „ „ 50 „ .	165
„ „ „ „ 75 „ .	175
„ „ „ „ 100 „ .	200
„ „ „ „ 150 „ .	225
„ „ „ „ 200 „ .	250
„ „ „ „ 300 „ .	300
„ „ „ „ 400 „ .	350
„ „ „ „ 500 „ .	400

Die Preise der Elektricitätszähler von H. Aron gelten ab Berlin ohne Verpackung für Spannungen bis etwa 125 Volt; für je 25 Volt höherer Spannung kosten die Apparate 15 Mark mehr.

57. Preise von Schaltapparaten. Je nach der Konstruktion, mechanischen Ausführung und der Ampèrezahl stellen sich die Preise der Ausschalter sehr verschieden. Durchschnittspreise bestimmter Ausschalter gibt die folgende Tabelle an.

Tabelle.

Preise von Schaltapparaten.

Schaltvorrichtungen	Preis in Mark
Ausschalter bis 1·5 Ampère	1·7
„ „ 3 „	2·6
„ „ 6 „	3·4
„ „ 9 „	4·3
„ „ 15 „	6·0

Schaltvorrichtungen	Preis in Mark
Hebelausschalter von 15 bis 30 Ampère	21·0
„ „ 30 „ 60 „	25·0
„ „ 60 „ 120 „	34·0
„ „ 120 „ 210 „	50·0
„ „ 210 „ 300 „	67·0
Messerausschalter bis 30 Ampère	25·0
„ „ 60 „	30·0
Bipolare Ausschalter bis 30 Ampère	25·0
„ „ „ 60 „	34·0
„ „ „ 120 „	42·0
Spannungszeigerumschalter für 1 Leitung	25·0
Spannungszeigerausschalter für 2 Leitungen	30·0
Ausschalter in Schieferdose mit Sicherung bis 3 Ampère	3·0
„ „ „ „ „ „ 10 „	5·0
Steckkontakt mit Glühlampenfassung	9·0

58. Preise von Sicherungen. Die in der folgenden Tabelle angegebenen Sicherungen für kleinere Lampengruppen sind bipolar, auf Schiefer, Porzellan, Marmor, Glas oder Serpentin montiert, vollständig feuersicher und leicht und gefahrlos auswechselbar. Für größere Stromstärken finden Bleistreifen mit Metallenden-Fassung Verwendung; dieselben sind durch massive Metallklötze mit den Leitungen verbunden. Die Auswechslung dieser Sicherungen ist bequem, der Kontakt vollkommen.

Tabelle.

Preise von Sicherungen.

Sicherung	Preis in Mark
Bleisicherung, bipolar	3·4
„ „	4·2
„ „	6·0
Bleistöpsel hierzu	0·5
Staniolsicherung, unipolar, in Glashülse	0·6
Staniolsicherung mit Patrone in Dosenform	0·6
Staniolsicherung, bipolar, mit Patrone	1·8
Patrone hierzu	1·3
Porzellanbleisicherung	1·1

Sicherung	Preis in Mark
Bleistreifen mit Metallendenfassung, groß	1·8
" " " mittel	1·5
" " " klein	1·3
Anschlussklötze hierzu für 50 Ampère	1·0
" " " 500 "	2·8
Bleibügel	2·0
Blitzschutzvorrichtung mit 2 Anschlüssen	5·0

59. Preise des Isolationsmateriales. In der nächsten Tabelle sind die Preise verschiedener, bestimmter Isolationsmateriale enthalten. Der Tabelle wurde das Porzellan als Isolationsmaterial zugrunde gelegt; an dessen Stelle treten auch Glas, Steingut u. s. w.

60. Preise von Leitungsmaterial. Der Preis einer Leitung hängt von der Art des Leiters, der Art der Isolation desselben und von dem Preise des Rohkupfers ab. Ein massiver Leiter ist billiger als ein litzenförmiger.

Ein litzenförmiger, blanker Leiter aus 7 Kupferdrähten zu je 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 32 Mark.

Tabelle.
Preise von Isolationsmaterial.

Isolationsmaterial	Preis in Mark
Pfeifeneinführung aus Porzellan	0·75
Muscheleinführung	0·75
Porzellanklemmen mit Schrauben	0·09—0·67
Porzellaneinführungsrohr	0·15—1·00
Porzellanisolationsrolle	0·05—0·20
Porzellanisolator mit Stütze	0·67—2·10
" " " und Sicherung	3·40
Zweinutige, impräg. Holzleisten mit gehobeltem Deckel für 1 *m*	0·30—1·40
Kautschukisolierleinwand für 1 *m*	5·00
Kautschukschläuche 3 *mm* lichte Weite	0·24
" 6 " " "	0·56
" 10 " " "	0·92
Hartgummirohre 8 " " "	0·30
" 12 " " "	0·60
Isolierband (Manson Tape) 1 Stück	8·30

Ein litzenförmiger, blanker Leiter aus 15 Kupferdrähten zu je 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 70 Mark.

Ein litzenförmiger, blanker Leiter aus 37 Kupferdrähten zu je 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 200 Mark.

Ein blanker Leiter von 1·3 *mm* Durchmesser kostet für je 100 *m* 2 M.

Der Preis einer Leitung steigt mit der Anzahl der Isolierhüllen derselben und mit der Art des für dieselbe verwendeten Materiales. In der folgenden Tabelle sind die Leiter bis zu dem Querschnitte von 10 mm^2 blank, dann litzenförmig; aufgenommen erscheinen:

1. Blanke Leitungen.

2. Isolierte Leitungen für trockene Räume. Das Kupfer ist mit Baumwolle umsponnen, mit Leinengarn umflochten und asphaltiert.

3. Feuersicher imprägnierte Leitungen.

Über dem Leiter befindet sich eine doppelte Umspinnung mit Baumwolle, eine Asphaltierung, eine Umflechtung mit Leinengarn und eine feuersichere Imprägnierung. Diese Leitungen sind für trockene Räume bestimmt.

4. Leitungen für feuchte, warme Räume. Verzinkter Kupferdraht erscheint mit einem Gummiband umwickelt, doppelt mit Baumwolle umsponnen, mit Leinengarn umflochten und getheert.

5. Leitungen für feuchte, kalte Räume. Ein mit Guttapercha umpresster Kupferleiter, über welchem sich eine Baumwollumspinnung befindet, ist mit Leinengarn umflochten, getheert und asphaltiert.

6. Bleikabel für oberirdische Leitungen. Mit Baumwolle umsponnene Kupferleiter sind mit einem Bleimantel umpresst.

Tabelle.

Preise der Leitungen in Mark für je 100 *m*.

Kupfer-Querschnitt in mm^2	Blanke Leitung	Isolierte Leitung für trockene Räume	Feuersicher imprägnirte Leitung	Leitung für feuchte, warme Räume	Leitung für feuchte, kalte Räume	Bleikabel
1·0	1·94	5·46	5·25	11·24	16·49	26·25
1·5	2·89	7·14	7·04	14·18	20·48	29·40
2·5	4·73	9·87	10·08	18·17	28·25	34·65
4·0	6·56	14·07	14·28	24·15	37·80	44·10
6·0	11·34	19·64	19·64	31·50	46·20	52·50
10·0	18·90	29·40	30·45	46·20	71·40	70·35
16·0	30·45	45·15	48·30	69·30	121·80	99·75
25·0	47·25	69·30	72·45	97·65	164·85	136·50
35·0	76·65	95·55	96·60	133·35	202·65	178·50
50·0	108·15	136·50	136·50	180·60	265·65	231·00
70·0	151·20	185·85	186·90	238·35	346·50	325·00
95·0	201·60	244·15	141·50	306·60	451·50	399·00

61. Preise zu dem Hausinstallationssystem S. Bergmann.

Tabelle.

Preise des Materiales zu dem Hausinstallationssystem S. Bergmann in Mark.

Material		Durchmesser der Röhren in *mm*						
		9	11	17	23	29	36	48
Röhren 3 *m* lang, für je 100 *m*	mit je 1 Muffe	24·25	25·50	36·75	48·00	63·50	102·75	156
	ohne Muffe	20·75	22·50	33·00	43·50	59·50	98·00	150
Ellbogen für je 100 Stück	mit je 2 Muffen	32·50	35·50	43·00	60·00	—	—	—
	ohne Muffe	15·75	17·50	20·50	29·50	—	—	—
Kröpfungsstücke für je 100 Stück	mit je 2 Muffen	53·50	58·00	70·00	97·00	—	—	—
	ohne Muffe	37·00	40·00	48·00	65·00	—	—	—
Verbindungsmuffen für je 10 Stück	aus Metall	6·30	7·00	9·10	13·00	—	—	—
	aus Isolirmasse	—	—	—	—	10·00	12·00	15·00
Messingbänder für je 1 Groß		1·10	1·40	2·40	3·15	3·95	5·25	—
Setzeisen zum Einschlagen der Krampen für je 1 Stück		0·45	0·50	0·60	0·70	0·85	1·00	—

Vertheilungskasten aus Isoliermasse kosten für 4 Stromkreise des Zweileitersystemes 3·15 Mark, für die 4 Stromkreise des Dreileitersystemes 3·85 Mark, der Metalldeckel dazu 4·75 Mark. Die Preise der Zwillingsleitungen für je 100 Mark stellen sich folgend:

Zwillingsleitung 2·7 mm^2 350 M.,
„ 3·6 „ 476 M.,
„ 6·3 „ 600 M.

2. Durchschnittspreise der motorischen Einrichtung.

62. Preise von Kesseln. Cirkulations-Wasserrohr-Dampfkessel, Dampfspannung 10 Atm.

Tabelle.

Preise von Kesseln.

Heizfläche in m^2	Gewicht des vollständigen Kessels in *kg*	Preis des Kessels sammt Ausrüstung in Mark
28	5200	3800
40	7000	5000
54	8600	6200
71	10500	7400
100	13000	9400
140	16800	12000
250	27500	18000

63. Preise von Dampfmaschinen.

Tabelle.

Preise von Compoundmaschinen mit Kondensation.

Umdrehungen in der Minute				Preis in Mark
60	70	80	90	
Leistung in *HP*				
28	32	37	42	8400
38	45	51	57	9300
49	57	65	73	10000
77	89	102	115	13000
94	109	125	140	14000
122	142	163	—	18000
152	177	202	—	20000

Die Leistungen sind unter Voraussetzung von 6 Atm. Überdruck als Admissionsspannung im Hochdruckcylinder und 10facher gesammter Expansion angegeben.

64. Preise von Gasmotoren. Für die elektrische Beleuchtung sind nur solche Gasmotoren verwendbar, welche sich durch einen vollkommen gleichmäßigen Gang auszeichnen. Diese Eigenschaft besitzen hauptsächlich nur die Zwillingsmotoren. Eincylindermotoren können bei der Kraftübertragung und in jenen Betrieben Verwendung finden, in welchen eine geringe Änderung in der Umdrehungszahl belanglos erscheint.

Tabelle.

Preise von Eincylindermotoren.

Größe der Maschine in effektiven *HP* . . .	1/8	1/4	1/2	1	2	3	4	5	6	8	10
Umdrehungen in der Minute	300	270	200	200	180	180	170	170	170	170	170
Nettogewicht in *kg* . . .	125	165	350	500	700	750	900	950	1300	1450	1700
Preis in Mark	750	800	900	1100	1500	1700	2200	2400	2800	3200	4000

Tabelle.

Preise von Zwillingsmotoren.

Größe der Motoren in effektiven *HP* . . .	10	12	15	20	30	40	60
Umdrehungen in der Minute	170	170	160	160	150	150	150
Nettogewicht in *kg* . . .	2600	3000	4300	5000	6200	10000	12000
Preis in Mark	4000	4500	5200	6000	7500	9300	13000

Der Gaskonsum bei den Motoren der Maschinenbau-Gesellschaft in München beträgt etwa $^1/_2$ bis 1 m^3 in 1 Stunde und für 1 Pferdekraft; derselbe ändert sich mit der Qualität des Gases und mit der Größe der Motoren. Dieselben regulieren den Gasverbrauch je nach der Leitung selbstthätig.

2. Praktische Regeln.

65. Praktische Regeln. In der elektrotechnischen Praxis handelt es sich häufig darum, augenblickliche Schätzungswerte von Beleuchtungs- oder Kraftübertragungseinrichtungen anzugeben. Zu diesem Zwecke bedient man sich der folgenden oder ähnlicher Regeln.

1. Die elektrische Einrichtung kostet für eine Glühlampe zu 16 *NK* bei einer kleinen Anlage 40, bei einer großen 25 Mark; für eine Bogenlampe zu 8 Ampère etwa 10 mal soviel als für eine Glühlampe zu 16 *NK*.

Bei einer Anlage zu 10 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 60 Mark.

Bei einer Anlage zu 100 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 40 Mark.

Bei einer Anlage zu 300 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 30 Mark.

Bei einer Anlage zu 1000 Glühlampen kostet die einzelne Lampe etwa 25 Mark.

2. Die motorische Anlage ist etwa doppelt so theuer, als die gesammte elektrische.

3. Die Leitung für eine Glühlampe stellt sich etwa auf 8 Mark.

4. Bei den größten Anlagen kostet die Brennstunde einer 16 *NK* Glühlampe unter den günstigsten Verhältnissen mindestens 2 Pf.; dabei ist eine jährliche Anzahl von mindestens 1100 Brennstunden vorausgesetzt.

5. Hausanschlüsse werden nach der Anzahl der Auslässe berechnet. Man rechnet pro Auslass höchstens 23 Mark (28 Kronen).

Anhang.

I. Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen, herausgegeben vom Verbande deutscher Elektrotechniker. [1])

(Zweite Ausgabe, angenommen von der VI. Jahres-Versammlung zu Frankfurt a/M. 1898).

Abtheilung I.

Die Vorschriften dieser Abtheilung gelten für elektrische Starkstromanlagen mit Spannungen bis 250 Volt zwischen irgend zwei Leitungen oder einer Leitung und Erde, mit Ausschluss unterirdischer Leitungsnetze, elektrischer Bahnen und elektrochemischer Betriebsapparate.

Für solche gewerbliche Betriebe, welche die darin beschäftigten Personen der Gefährdung der elektrischen Ströme erfahrungsgemäß besonders zugänglich machen, gelten außer den nachstehenden Vorschriften die in Anhang *A* enthaltenen Zzsatzbestimmungen.

I. Betriebsräume und Anlagen.

§ 1.

Dynamomaschinen, Elektromotoren, Transformatoren und Stromwender, welche nicht in besonders staub- und luftdichten Schutzkästen stehen, dürfen nur in Räumen aufgestellt werden, in denen normaler Weise eine Explosion durch Entzündnng von Gasen, Staub und Fasern ausgeschlossen ist. In allen Fällen ist die Aufstellung derart auszuführen, dass etwaige im Betriebe der elektrischen Einrichtungen auftretende Feuererscheinung keine Entzündung von brennbaren Stoffen hervorrufen können.

§ 2.

In Akkumulatorenräumen darf keine andere als elektrische Glühlichtbeleuchtung verwendet werden. Solche Räume müssen dauernd gut ventiliert sein. Die einzelnen Zellen sind gegen das Gestell und letzteres ist gegen Erde durch Glas, Porzellan oder ähnliche nicht hygroskopische Unterlagen zu isolieren. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um beim Auslaufen von Säure eine Gefährdung des Gebäudes zu vermeiden. Während der Ladung dürfen in diesen Räumen glühende oder brennende Gegenstände nicht geduldet werden.

§ 3.

Die Hauptschalttafeln in Betriebsräumen sollten aus unverbrennlichem Material bestehen, oder es müssen sämmtliche stromführenden Theile auf isolierenden und feuersicheren Unterlagen montiert werden. Sicherungen, Schalter und alle Apparate, in denen betriebsmäßig Stromunterbrechung stattfindet, müssen derart angeordnet sein, dass etwaige im Betriebe der elektrischen Einrichtungen auftretende Feuererscheinungen benachbarte brennbare Stoffe nicht entzünden können, und unterliegen überdies den in § 1 gegebenen Vorschriften. Für Regulierwiderstände gelten die Bestimmungen des § 14.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1898. S. 489.

II. Leitungen.

§ 4.

Das Kupfer der Stromleitungen muss den Normalien des Verbandes deutscher Elektrotechniker[1]) entsprechen.

§ 5.

Die höchste zulässige Betriebs-Stromstärke für isolierte Drähte und Kabel aus Leitungskupfer ist aus nachstehender Tabelle zu entnehmen:

Querschnitt in Quadratmillimeter	Betriebsstromstärke in Ampère	Querschnitt in Quadratmillimeter	Betriebsstromstärke in Ampère
0·75	3	95	165
1	4	120	200
1·5	6	150	235
2·5	10	185	275
4	15	240	330
6	20	310	400
10	30	400	500
16	40	500	600
25	60	625	700
35	80	800	850
50	100	1000	1000
70	130		

Blanke Kupferleitungen bis zu 50 mm^2 Querschnitt unterliegen den Vorschriften der vorstehenden Tabelle; blanke Kupferleitungen von 50 bis 1000 mm^2 Querschnitt können mit 2 Ampère für den Quadratmillimeter belastet werden.

Bei Verwendung von Drähten aus anderen Metallen müssen die Querschnitte entsprechend größer gewählt werden.

Der geringste zulässige Querschnitt für isolierte Kupferleitungen, außer an und in Beleuchtungskörpern, ist 1 mm^2, an und in Beleuchtungskörpern $^3/_4$ mm^2.

Der geringste zulässige Querschnitt von blanken Leitungen in Gebäuden ist 4 Quadratmillimeter; derjenige von blanken oder isolierten Freileitungen aus Kupfer oder anderen Metallen von mindestens gleich großer Bruchfestigkeit ist 6 Quadratmillimeter.

§ 6.

Blanke Leitungen (Bezeichnung *B* oder *B E*) sind nur außerhalb von Gebäuden und in feuersicheren Räumen ohne brennbaren Inhalt, soweit sie vor Beschädigungen oder zufälliger Berührung gesichert sind, ferner in Maschinen und Akkumulatorenräumen, welche nur dem Bedienungspersonal zugänglich sind, gestattet. Ausnahmsweise sind auch in nicht feuersicheren Räumen, in welchen ätzende Dünste auftreten, blanke Leitungen zulässig, wenn dieselben durch einen geeigneten Überzug gegen Oxydation geschützt sind. Blanke Leitungen sind nur auf Isolierglocken zu verlegen und müssen, soweit sie nicht unausschaltbare Parallelzweige sind, von einander bei Spannweiten von über 6 *m* mindestens 30 *cm*, bei Spannweiten von 4 bis 6 *m* mindestens 20 *cm*, und bei

[1]) Siehe Anhang *B*.

kleineren Spannweiten mindestens 15 *cm*, von der Wand in allen Fällen mindestens 10 *cm* entfernt sein. Bei Verbindungsleitungen zwischen Akkumulatoren, Maschinen und Schaltbrett sind Isolierrollen und kleinere Abstände zulässig.

Im Freien müssen blanke Leitungen wenigstens 4 *m* über den Erdboden verlegt werden. Den örtlichen Verhältnissen entsprechend sind Freileitungen durch Blitzschutzvorrichtungen zu sichern, die auch bei wiederholten Blitzschlägen wirksam bleiben. Es ist dabei auf eine gute Erdleitung Bedacht zu nehmen, welche unter möglichster Vermeidung von Krümmungen auszuführen ist. Bezüglich der Sicherungen vorhandener Telephon- und Telegraphenleitungen gegen Freileitungen wird auf § 12 des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 verwiesen.[1])

Betriebsmäßig geerdete, blanke Leitungen fallen nicht unter die Bestimmungen des § 6.

Isolierte Einfachleitungen.

§ 7.

a) Leitungen (Bezeichnung *U*), welche eine doppelte, fest auf dem Draht aufliegende, mit geeigneter Masse imprägnierte und nicht brüchige Umhüllung von faserigem Isoliermaterial haben, dürfen, soweit ätzende Dämpfe nicht zu befürchten sind, auf Isolierglocken überall, dagegen auf Isolierrollen, Isolierringen oder diesen gleichwerthigen Befestigungsstücken nur in ganz trockenen Räumen verwendet werden. Sie sind in einem Abstand von mindestens 2·5 *cm* von einander zu verlegen.

b) Leitungen (Bezeichnung *J*), die unter der oben beschriebenen Umhüllung von faserigem Isoliermaterial noch mit einer zuverlässigen, aus Gummiband hergestellten Umwicklung versehen sind, dürfen, soweit ätzende Dämpfe nicht zu befürchten sind, auf Isolierglocken überall, dagegen auf Rollen, Ringen und Klemmen, und in isolierenden Rohren, sowie an und in Beleuchtungskörpern nur in solchen Räumen verlegt werden, welche in normalem Zustande trocken sind.

c) Leitungen (Bezeichnung *G*), bei welchen die Gummiisolierung in Form einer ununterbrochenen, nahtlosen und vollkommen wasserdichten Hülle hergestellt ist, dürfen, soweit ätzende Dämpfe nicht zu befürchten sind, auch in feuchten Räumen angewendet werden.

d) Blanke Bleikabel (Bezeichnung *KB*), bestehend aus einer oder mehreren Kupferseelen, starken Isolierschichten, und einem nahtlosen einfachen, oder einem mehrfachen Bleimantel, müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt sein und dürfen nicht unmittelbar mit Stoffen, welche das Blei angreifen, in Berührung kommen.

e) Asphaltierte Bleikabel (Bezeichnung *KA*) dürfen nur da verlegt werden, wo sie gegen mechanische Beschädigung geschützt sind.

f) Asphaltierte armierte Bleikabel (Bezeichnung *KE*) bedürfen eines besonderen mechanischen Schutzes nicht.

g) Bleikabel jeder Art dürfen nur mit Endverschlüssen, Abzweigmuffen oder gleichwertigen Vorkehrungen, welche das Eindringen von Feuchtigkeit wirksam verhindern und gleichzeitig einen guten elektrischen Anschluss vermitteln, verwendet werden.

---

[1]) Dieser Paragraph lautet: Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes an einer Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Theiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung einer bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst, nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beeinflussen.

An den Befestigungsstellen ist darauf zu achten, dass der Bleimantel nicht eingedrückt oder verletzt wird; Rohrhaken sind daher nur bei armierten Kabeln als Befestigungsmittel zulässig.

Blanke Bleikabel, deren Kupferseele weniger als 6 Quadratmillimeter Querschnitt hat, sind nur dann zulässig, wenn ihre Isolation aus vulkanisiertem Gummi oder gleichwertigem Material besteht.

h) Bei eisenarmierten Kabeln für Ein- oder Mehrphasenstrom müssen sämmtliche zu einem Stromkreise gehörigen Leitungen in demselben Kabel enthalten sein.

i) Wenn vulkanisierte Gummiisolierung verwendet wird, muss der Leiter verzinnt sein.

Mehrfachleitungen.

(Bezeichnung *L*).

§ 8.

a) Leitungsschnur darf in trockenen Räumen verwendet werden, wenn jede der Leitungen in folgender Art hergestellt ist:

Die Kupferseele besteht aus Drähten unter 0·5 *mm* Durchmesser; darüber befindet sich eine Umspinnung aus Baumwolle, welche von einer dichten, das Eindringen von Feuchtigkeit verhindernden Schicht Gummi umhüllt ist; hierauf folgt wieder eine Umwicklung mit Baumwolle und als äußerste Hülle eine Umklöppelung aus widerstandsfähigem Stoffe der nicht brennbarer sein darf als Seide oder Glanzgarn.

Der geringste zulässige Querschnitt für biegsame Leitungsschnur zum Anschluss beweglicher Lampen und Apparate ist 1 mm^2 für jede Leitung.

b) Derartige Leitungsschnur darf nur in normal trockenen Räumen und in einem Abstand von mindestens 5 *mm* vor der Wand- oder Deckenfläche, jedoch niemals in unmittelbarer Berührung mit leicht entzündlichen Gegenständen fest verlegt werden. Bei fester Verlegung darf der Querschnitt jeder Leitung nicht kleiner als 1·5 und nicht größer als 4 mm^2 sein.

c) Beim Anschluss biegsamer Leitungsschnur an Fassungen, Anschlussdosen und andere Apparate müssen die Enden der Kupferlitzen verlöthet sein. Die Anschluss- und Verbindungsstellen müssen vor Zug geschützt sein.

d) Biegsame Mehrfachleitungen zum Anschluss von Lampen und Apparate sind in feuchten Räumen und im Freien zulässig, wenn jeder Leiter nach § 7 *c* und *i* hergestellt ist und die Leiter durch eine Umhüllung von widerstandsfähigem Isoliermaterial geschützt sind.

e) Drähte bis 6 mm^2 Querschnitt, oder Litzen, welche aus Drähten von mehr als 0·5 *mm* Durchmesser zusammengesetzt sind, dürfen, wenn ihre Beschaffenheit mindestens den Vorschriften 7 *b* und *i* entspricht, verdrillt oder in gemeinschaftlicher Umhüllung in trockenen Räumen wie Einzelleitungen nach 7 *b* fest verlegt werden.

Verlegung.

§ 9.

a) Alle Leitungen und Apparate müssen auch nach der Verlegung in ihrer ganzen Ausdehnung in solcher Weise zugänglich sein, dass sie jederzeit geprüft und ausgewechselt werden können.

b) Drahtverbindungen, Drähte dürfen nur durch Verlöthen oder eine gleich gute Verbindungsart verbunden werden. Drähte durch einfaches Umeinanderschlingen der Drahtenden zu verbinden, ist unzulässig.

Zur Herstellung für Löthstellen dürfen Löthmittel, welche das Metall angreifen, nicht verwendet werden. Die fertige Verbindungsstelle ist entsprechend der Art der betreffenden Leitungen sorgfältig zu isolieren. Abzweigungen von frei gespannten Leitungen sind von Zug zu entlasten.

Zum Anschlusse an Schalttafeln oder Apparate sind alle Leitungen über 25 mm^2 Querschnitt mit Kabelschuhen oder einem gleichwertigen Verbindungsmittel zu versehen. Drahtseile von geringerem Querschnitt müssen, wenn sie nicht gleichfalls Kabelschuhe erhalten, an den Enden verlöthet werden.

c) Kreuzungen von stromführenden Leitungen unter sich und mit sonstigen Metalltheilen sind so auszuführen, dass Berührung ausgeschlossen ist. Kann kein genügender Abstand eingehalten werden, so sollen isolierende Rohre übergeschoben oder isolierende Platten dazwischengelegt werden, um die Berührung zu verhindern. Rohre und Platten sind sorgfältig zu befestigen und gegen Lagenveränderung zu schützen.

d) Wand- und Deckendurchgänge sind entweder der in dem betreffenden Raume gewählten Verlegungsart entsprechend auszuführen, oder es sind haltbare Rohre aus isolierendem Material (Holz ausgeschlossen), welche ein bequemes Durchziehen der Leitungen gestatten, zu verwenden. In diesem Falle ist für jede einzeln verlegte Leitung, sowie für jede Mehrfachleitung je ein Rohr zu verwenden, und die Rohre sind in geeigneter Weise abzudichten. Die Rohre müssen über Decken und Wandflächen mindestens 2 *cm* und über Fußböden mindestens 10 *cm* vorstehen und sind in letzterem Falle gegen mechanische Beschädigung zu schützen. In feuchten Räumen sind entweder Porzellanrohre zu verwenden, deren Enden nach Art der Isolierglocken ausgebildet sind, oder die Leitungen sind frei durch genügend weite Kanäle zu führen. Betriebsmäßig geerdete Leitungen fallen nicht unter die Bestimmungen des § 9 *d*.

Schutzverkleidungen sind da anzubringen, wo Gefahr vorliegt, dass Leitungen beschädigt werden können, und sollen so hergestellt werden, dass die Luft zutreten kann. Leitungen können auch durch Rohre geschützt werden.

III. Isolierung und Befestigung der Leitungen.

§ 10.

Für die Befestigungsmittel und die Verlegung aller Arten von Leitungen gelten folgende Bestimmungen.

a) Isolierglocken dürfen im Freien nur in aufrechter Stellung, in gedeckten Räumen nur in solcher Lage befestigt werden, dass sich keine Feuchtigkeit in der Glocke ansammeln kann.

b) Isolierrollen und Ringe müssen so geformt und angebracht sein, dass die Leitung in feuchten Räumen wenigstens 10 *mm* und in trockenen Räumen wenigstens 5 *mm* lichten Abstand von der Wand hat.

Bei Führung längs der Wand soll auf je 80 *cm* mindestens eine Befestigungsstelle kommen.

Bei Führung an den Decken kann die Entfernung im Anschluss an die Deckenkonstruktion ausnahmsweise größer sein.

c) Klemmen müssen aus isolierendem Material oder Metall mit isolierenden Einlagen und Unterlagen bestehen und sind nur in normal trockenen Räumen zulässig.

Auch bei Klemmen müssen die Leitungen von der Wand einen Abstand von mindestens 5 *mm* haben. Die Kanten der Klemmen müssen so geformt sein, dass sie keine Beschädigung des Isoliermaterials verursachen können.

d) Mehrfachleitungen dürfen nicht so befestigt werden, dass ihre Einzelleiter aufeinander gepresst sind; metallene Bindedrähte sind hierbei nicht zulässig.

e) Rohre können zur Verlegung von isolierten Leitungen mit einer Isolation nach § 7 *b* oder *c* unter Putz, in und auf Wänden, Decken und Fußböden verwendet werden, sofern sie den Zutritt von Feuchtigkeit dauernd verhindern. Rohre für Leitungen nach § 7 *b* müssen aus Isoliermaterial bestehen, oder mit Isoliermaterial ausgekleidet sein.

Rohre für Leitungen nach § 7 *c* können aus Metall ohne isolierende Auskleidung bestehen. Es ist gestattet, Hin- und Rückleitungen in dasselbe Rohr zu verlegen; mehr als drei Leiter in demselben Rohre sind nicht zulässig.

Bei Verwendung metallener Rohre für Wechselstromleitungen müssen Hin- und Rückleitungen in demselben Rohre geführt werden. Drahtverbindungen dürfen nicht innerhalb der Rohre, sondern nur in Verbindungsdosen ausgeführt werden, welche jederzeit leicht geöffnet werden können. Die lichte Weite der Rohre, die Zahl und der Radius der Krümmungen, sowie die Zahl der Dosen müssen so gewählt werden, dass man die Leitungen jederzeit leicht einziehen und entfernen kann.

Die Rohre sind so herzurichten, dass die Isolation der Leitungen durch vorstehende Theile und scharfe Kanten nicht verletzt werden kann; die Stoßstellen müssen sicher abgedichtet sein. Die Rohre sind so zu verlegen, dass sich an keiner Stelle Wasser ansammeln kann.

Nach der Verlegung ist die höher gelegene Mündung des Rohrkanals luftdicht zu verschließen.

f) Holzleisten sind zur Verlegung von Leitungen nicht gestattet.

Krampen sind zur Befestigung von betriebsmäßig geerdeten blanken Leitungen zulässig.

g) Einführungsstücke. Bei Wanddurchgängen ins Freie sind Einführungsstücke von isolierendem und feuersicherem Material mit abwärts gekrümmten Ende zu verwenden.

h) Bei Durchführungen der Leitungen durch hölzerne Wände und hölzerne Schalttafeln müssen die Öffnungen durch isolierende und feuersichere Tüllen ausgefüttert sein.

IV. Apparate.

§ 11.

Die stromführenden Theile sämmtlicher in eine Leitung eingeschalteten Apparate müssen auf feuersicheren, auch in feuchten Räumen gut isolierenden Unterlagen montiert und von Schutzkästen derart umgeben sein, dass sie sowohl vor Berührung durch Unbefugte geschützt, als auch von brennbaren Gegenständen feuersicher getrennt sind.

Die stromführenden Theile sämmtlicher Apparate müssen mit gleichwertigen Mitteln und ebenso sorgfältig von der Erde isoliert sein, wie die in den betreffenden Räumen verlegten Leitungen. Bei Einführung von Leitungen muss der für die Leitung vorgeschriebene Abstand von der Wand gewahrt bleiben. Die Kontakte sind derart zu bemessen, dass durch den stärksten vorkommenden Betriebsstrom keine Erwärmung von mehr als 50° *C* über die Lufttemperatur eintreten kann. Für Apparate in Betriebsräumen gilt § 3.

Sicherungen.

§ 12.

a) Die neutralen oder Null-Leitungen bei Mehrleiter- und Mehrphasensystemen, sowie alle betriebsmäßig geerdeten blanken Leitungen dürfen keine Sicherungen enthalten; dagegen sind alle übrigen Leitungen, welche von der Schalttafel nach den Verbrauchsstellen führen, durch Abschmelzsicherungen oder andere selbstthätige Stromunterbrecher zu schützen.

b) Die höchste zulässige Abschmelzstromstärke bestimmt sich (mit Ausnahme des unter *g* angeführten Falles) aus folgender Tabelle:

Drahtquerschnitt in mm^2	Normalstromstärke der Sicherung in Ampère	Abschmelzstromstärke der Sicherung in Ampère
0·75	6	12
1	6	12
1·5	6	12
2·5	10	20
4	15	30
6	20	40
10	30	60
16	40	80
25	60	120
35	80	160
50	100	200
70	130	260
95	165	330
120	200	400
150	235	470
185	275	550
240	330	660
310	400	800
400	500	1000
500	600	1200
625	700	1400
800	850	1700
1000	1000	2000

Es ist zulässig, die Sicherung für eine Leitung schwächer zu wählen, als sie nach dieser Tabelle sein sollte.

c) Sicherungen sind (mit Ausnahme des unter *g* angeführten Falles) an allen Stellen anzubringen, wo sich der Querschnitt der Leitung in der Richtung nach der Verbrauchsstelle hin vermindert; und zwar in einer Entfernung von höchstens 25 *cm* von der Abzweigstelle. Das Anschlussleitungsstück kann von geringerem Querschnitt sein als die Hauptleitung, welche durch dasselbe mit der Sicherung verbunden wird, ist aber in diesem Falle von entzündlichen Gegenständen feuersicher zu trennen und darf dann nicht aus Mehrfachleitern hergestellt sein.

Ist die Anbringung der Sicherung in einer Entfernung von höchstens 25 *cm* von den Abzweigstellen nicht angängig, so muss die von der Abzweigstelle nach der Sicherung führende Leitung den gleichen Querschnitt wie die durchgehende Hauptleitung erhalten.

d) Die Sicherungen müssen derart konstruiert sein, dass beim Abschmelzen kein dauernder Lichtbogen entstehen kann, selbst dann nicht, wenn hinter der Sicherung Kurzschluss entsteht; auch muss bei Sicherungen bis 6 mm^2 Leitungsquerschnitt (20 Ampère Normalstromstärke) durch die Konstruktion eine irrthümliche Verwendung zu starker Abschmelzstöpsel ausgeschlossen sein. Bei Sicherungen aus weichen plastischen Metallen darf das Metall nicht unmittelbar den Kontakt vermitteln, sondern es müssen die Enden

der Schmelzdrähte oder Schmelzstreifen in Kontaktstücke aus Kupfer oder gleichgeeignetem Material eingelöthet werden.

e) Sicherungen sind möglichst zu centralisieren und in handlicher Höhe anzubringen.

f) Die Maximalspannung und die Normalstromstärke sind auf dem auswechselbaren Stück der Sicherung zu verzeichnen.

g) Mehrere Vertheilungsleitungen können eine gemeinsame Sicherung von höchstens 6 Ampère Normalstärke erhalten. Querschnittsverminderungen oder Abzweigungen jenseits dieser Sicherung brauchen in diesem Falle nicht weiter gesichert zu werden.

h) Bewegliche Leitungsschnüre zum Anschluss von transportablen Beleuchtungskörpern und Apparaten sind stets mittelst lösbaren Kontaktes und Sicherung an allen Polen abzuzweigen, welch' letztere der Stromstärke genau anzupassen ist.

i) Innerhalb von Räumen, wo betriebsmäßig leicht entzündliche oder explosible Stoffe vorkommen, dürfen Sicherungen nicht angebracht werden.

Ausschalter.

§ 13.

a) Die Schalter müssen so konstruiert sein, dass sie nur in geschlossener oder offener Stellung, nicht aber in einer Zwischenstellung verbleiben können.

Hebelschalter für Ströme über 50 *A* und in Betriebsräumen alle Hebelschalter sind von dieser Vorschrift ausgenommen.

Die Wirkungsweise aller Schalter muss derart sein, dass sich kein dauernder Lichtbogen bilden kann.

b) Die normale Betriebsstromstärke und Spannung sind auf dem Schalter zu vermerken.

c) Metallkontakte sollen ausschließlich Schleifkontakte sein.

d) Betriebsmäßig geerdete Leitungen dürfen keinen Ausschalter enthalten. Nullleiter dürfen nur gleichzeitig mit den Außenleitern ausschaltbar sein.

e) In Räumen wo betriebsmäßig leicht entzündliche oder explosible Stoffe vorkommen, ist die Anwendung von Ausschaltern und Umschaltern nur unter verlässlichem Sicherheitsabschluss zulässig.

Widerstände.

§ 14.

Widerstände und Heizapparate, bei welchen eine Erwärmung um mehr als 50° C. eintreten kann, sind derart anzuordnen, dass eine Berührung zwischen den wärmeentwickelnden Theilen und entzündlichen Materialien sowie eine feuergefährliche Erwärmung solcher Materialien nicht vorkommen kann.

Widerstände sind auf feuersicherem, gut isolierenden Material zu montieren und mit einer Schutzhülle aus feuersicherem Material zu umkleiden. Widerstände dürfen nur auf feuersicherer Unterlage, und zwar freistehend oder an feuersicheren Wänden angebracht werden. In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Staub, Fasern oder Gasen vorhanden sind, dürfen Widerstände nicht aufgestellt werden.

V. Lampen und Beleuchtungskörper.

Glühlicht.

§ 15.

a) Glühlampen dürfen in Räumen, in denen eine Explosion durch Entzündung von Gasen, Staub oder Fasern stattfinden kann, nur mit dicht schließenden Überglocken,

welche auch die Fassungen einschließen, verwendet werden. Glühlampen, welche mit entzündlichen Stoffen in Berührung kommen können, müssen mit Schalen, Glocken oder Drahtgittern versehen sein, durch welche die unmittelbare Berührung der Lampen mit den entzündlichen Stoffen verhindert wird.

b) Die stromführenden Theile der Fassungen müssen auf feuersicherer Unterlage montiert und durch feuersichere Umhüllung, welche jedoch nicht unter Spannung stehen darf, vor Berührung geschützt sein.

Hartgummi und andere Materialien, welche in der Wärme einer Formveränderung unterliegen, sowie Steinnuss, sind als Bestandtheile im Innern der Fassung ausgeschlossen.

c) Die Beleuchtungskörper müssen isoliert aufgehängt, beziehungsweise befestigt werden, soweit die Befestigung nicht an Holz oder bei besonders schweren Körpern an trockenem Mauerwerk erfolgen kann. Sind Beleuchtungskörper entweder gleichzeitig für Gasbeleuchtung eingerichtet, oder kommen sie mit metallischen Theilen des Gebäudes in Berührung, oder werden sie an Gasleitungen oder feuchten Wänden befestigt, so ist der Körper an der Befestigungsstelle mit einer besonderen Isoliervorrichtung zu versehen, welche einen Stromübergang vom Körper zur Erde verhindert. Hierbei ist sorgfältig darauf zu achten, dass die Zuführungsdrähte den nicht isolierten Theil der Gasleitungen nirgends berühren. Ausgenommen von der Vorschrift § 15 *c* sind Anlagen mit geerdetem Mittelleiter.

d) Beleuchtungskörper müssen so aufgehängt werden, dass die Zuführungsdrähte durch Drehen des Körpers nicht verletzt werden können.

e) Zur Montierung von Beleuchtungskörpern ist gummiisolierter Draht (mindestens nach § 7 *b*) oder biegsame Leitungsschnur zu verwenden. Wenn der Draht außen geführt wird, muss er derartig befestigt werden, dass sich seine Lage nicht verändern kann und eine Beschädigung der Isolierung durch die Befestigung ausgeschlossen ist.

f) Schnurpendel mit biegsamer Leitungsschnur sind nur dann zulässig, wenn das Gewicht der Lampe nebst Schirm von einer besonderen Tragschnur getragen wird, welche mit der Litze verflochten sein kann. Sowohl an der Aufhängestelle, als auch an der Fassung müssen die Leitungsdrähte länger sein als die Tragschnur, damit kein Zug auf die Verbindungsstelle ausgeübt wird. Auch sonst dürfen Leitungen nicht zur Aufhängung benützt werden, sondern müssen durch besondere Aufhängevorrichtungen, welche jederzeit kontrolierbar sind, entlastet sein.

Bogenlicht.

§ 16.

a) Bogenlampen dürfen nicht ohne Vorrichtungen, welche ein Herausfallen glühender Kohlentheilchen verhindern, verwendet werden. Glocken ohne Aschenteller sind unzulässig.

b) Die Lampe ist von der Erde isoliert anzubringen.

c) Die Einführungsöffnungen für die Leitungen müssen so beschaffen sein, dass die Isolierhülle der letzteren nicht verletzt werden und Feuchtigkeit in das Innere der Laterne nicht eindringen kann.

d) Bei Verwendung der Zuleitungsdrähte als Aufhängevorrichtung dürfen die Verbindungsstellen der Drähte nicht durch Zug beansprucht und die Drähte nicht verdrillt werden.

e) Bogenlampen dürfen nicht in Räumen, in denen eine Explosion durch Entzündung von Gasen, Staub oder Fasern stattfinden kann, verwendet werden.

VI. Isolation der Anlage.

§ 17.

a) Der Isolationswiderstand des ganzen isolierten Leitungsnetzes gegen Erde muss mindestens $\frac{1000000}{n}$ Ohm betragen. Außerdem muss für jede Hauptabzweigung die Isolation mindestens $10000 + \frac{1000000}{n}$ Ohm betragen.

In diesen Formeln ist unter n die Zahl der an die betreffende Leitung angeschlossenen Glühlampen zu verstehen, einschließlich eines Äquivalentes von 10 Glühlampen für jede Bogenlampe, jeden Elektromotor oder anderen stromverbrauchenden Apparat.

b) Bei Messungen von Neuanlagen muss nicht nur die Isolation zwischen den Leitungen und der Erde, sondern auch die Isolation je zweier Leitungen verschiedenen Potentials gegen einander gemessen werden; hierbei müssen alle Glühlampen, Bogenlampen, Motoren oder andere stromverbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt, dagegen alle vorhandenen Beleuchtungskörper angeschlossen, alle Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen sein. Dabei müssen die Isolationswiderstände den obigen Formeln genügen.

c) Bei der Messung der Isolation sind folgende Bedingungen zu beachten: Bei Isolationsmessung durch Gleichstrom gegen Erde soll, wenn möglich, der negative Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung gelegt werden, und die Messung soll erst erfolgen, nachdem die Leitung während einer Minute der Spannung ausgesetzt war.

Alle Isolationsmessungen müssen mit der Betriebsspannung gemacht werden.

Bei Mehrleiteranlagen ist unter der Betriebsspannung die einfache Lampenspannung zu verstehen.

d) Anlagen, welche in feuchten Räumen, z. B. in Brauereien und Färbereien, installiert sind, brauchen der Vorschrift *a* dieses Paragraphen nicht zu genügen, müssen aber folgender Bedingung entsprechen:

Die Leitung muss ausschließlich mit feuer- und feuchtigkeitsbeständigem Verlegungsmaterial und so ausgeführt sein, dass eine Feuersgefahr infolge Stromableitung dauernd ganz ausgeschlossen ist.

VII. Pläne.

§ 18.

Für jede Starkstromanlage soll bei Fertigstellung ein Plan und ein Schaltungsschema hergestellt werden.

Der Plan soll enthalten:

a) Bezeichnung der Räume nach Lage und Verwendung. Besonders hervorzuheben sind feuchte Räume und solche, in welchen ätzende oder leicht entzündliche Stoffe oder explosible Gase vorkommen.

b) Lage, Querschnitt und Isolierungsart der Leitungen. Der Querschnitt wird in Quadratmillimetern ausgedrückt, neben die Leitungslinien gesetzt. Die Isolierungsart wird durch die unten angeführten Buchstaben bezeichnet.

c) Art der Verlegung (Isolierglocken, Rollen, Ringe, Rohre u. s. w.); hierfür sind ebenfalls nachstehend Bezeichnungen angegeben.

d) Lage der Apparate und Sicherungen.

e) Lage und Art der Lampen, Elektromotoren und sonstigen Stromverbraucher.

Für alle diese Pläne sind folgende Bezeichnungen anzuwenden:

= Feste Glühlampe.

= Bewegliche Glühlampe.

5 = Fester Lampenträger mit Lampenzahl (5).

3 = Beweglicher Lampenträger mit Lampenzahl (3).

Obige Zeichen gelten für Glühlampen jeder Kerzenstärke, sowie für Fassungen mit und ohne Hahn.

6 = Bogenlampe mit Angabe der Stromstärke (6) in Ampère.

= Dynamomaschine, beziehungsweise Elektromotor jeder Stromart mit Angabe der höchsten zulässigen Beanspruchung in Kilowatt.

= Akkumulatoren.

= Wandfassung, Anschlussdose.

= Einpoliger, beziehungsweise zweipoliger, beziehungsweise dreipoliger Ausschalter mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (6) in Ampère.

= Umschalter, desgleichen.

= Sicherung (an der Abzweigstelle).

= Widerstand, Heizapparate und dergleichen mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (10) in Ampère.

= Desgleichen beweglich angeschlossen.

= Transformator mit Angabe der Leistung in Kilowatt (7·5).

= Drosselspule.

= Blitzschutzvorrichtung.

= Zweileiter, beziehungsweise Dreileiter oder Drehstromzähler mit Angabe des Messbereichs in Kilowatt (5 beziehungsweise 20).

= Zweileiter-Schalttafel.

= Dreileiter-Schalttafel oder Schalttafel für mehrphasigen Wechselstrom.

= Einzelleitung.

= Hin- und Rückleitung.

= Dreileiter- oder Drehstromleitung.

= Festverlegte biegsame Mehrfachleitung jeder Art.

= nach oben führende Steigleitung.

= nach unten führende Steigleitung.

B = Blanker Kupferdraht.

BE = Blanker Eisendraht.

U = Leitung nach § 7 *a*.

J = Leitung nach § 7 *b*.

G = Leitung nach § 7 *c*.
L = Leitung nach § 7 *a*—*e*.
KB = Kabel nach § 7 *d*.
KA = Kabel nach § 7 *e*.
KE = Kabel nach § 7 *f*.
(*g*) = Verlegung auf Isolierglocken nach § 10 *a*.
(*r*) = Verlegung auf Rollen oder Ringen nach § 10 *b*.
(*k*) = Verlegung auf Klemmen nach § 10 *c*.
(*o*) = Verlegung in Rohren nach § 10 *e*.

Das Schaltungsschema soll enthalten:

Querschnitte der Hauptleitungen und Abzweigungen von den Schalttafeln mit Angabe der Belastung in Ampère.

Die Vorschriften dieses Paragraphen gelten auch für alle Abänderungen und Erweiterungen.

Der Plan und das Schaltungsschema sind von dem Besitzer der Anlage aufzubewahren.

VIII. Schlussbestimmungen.

§ 19.

Der Verband deutscher Elektrotechniker behält sich vor, diese Vorschriften den Fortschritten und Bedürfnissen der Technik entsprechend abzuändern.

§ 20.

Die vorstehenden Vors,chriften sowie Anhang *A* hierzu sind von der Kommission des Verbandes deutscher Elektrotechniker einstimmig angenommen worden und haben daher in Gemäßheit des Beschlusses der Jahresversammlung des Verbandes vom 3. Juni 1898 als Verbandsvorschriften zu gelten.

Der Vorsitzende der Kommission
Budde.

Anhang *A*
zur Abtheilung I der Sicherheitsvorschriften.

Für diejenigen Theile von industriellen und gewerblichen Betrieben, in denen erfahrungsgemäß die dauernde Erhaltung normaler Isolation erschwert und der Widerstand des Körpers der darin beschäftigten Personen erheblich vermindert wird, gelten die folgenden Zusatzbestimmungen:

1. An geeigneten Stellen sind Tafeln anzubringen, welche in deutlicher erkennbarer Schrift vor der Berührung der elektrischen Leitungen warnen.

2. Die Gestelle von Dynamomaschinen und Motoren müssen entweder isoliert und mit einem isolierenden Bedienungsgang umgeben oder dauernd geerdet sein.

3. Die Gehäuse von Transformatoren sind zu erden.

4. Akkumulatorbatterien müssen mit einem isolierenden Bedienungsgang umgeben und ihre Anordnung muss derart getroffen sein, dass bei der Bedienung eine gleichzeitige Berührung von Punkten, zwischen denen eine Spannung von mehr als 100 Volt besteht, nicht möglich ist.

5. Schalttafeln müssen von Erde isoliert und mit isolierendem Bedienungsgang umgeben sein oder es müssen sämmtliche Theile, welche unter Spannung stehen, auf der Bedienungsseite durch Gehäuse vor Berührung geschützt sein.

6. Schalter an Verbrauchsstellen müssen mit Schutzgehäusen versehen sein.

7. Schutzgehäuse jeder Art müssen entweder aus Isoliermaterial hergestellt oder geerdet sein; dasselbe gilt von den aus den Schutzkästen hervorragenden Theilen (Griffen u. s. w.) derselben.

8. Jeder Verbrauchsstromkreis muss innerhalb der von ihm versorgten Räumlichkeiten ausschaltbar sein.

Die Ausschalter müssen leicht erreichbar an durch Betriebsordnung frei zu haltenden Stellen angebracht sein.

Das Fabrikspersonal ist in geeigneter Weise über Zweck und Handhabung dieser Ausschalter zu belehren.

9. Die äußere Metallumhüllung von Leitungen, der äußere Bleimantel oder die Armierung von Kabeln, Schutzdrähte, Schutznetze, metallische Schutzverkleidungen und Schutzkästen von Theilen, die unter Spannung stehen, müssen geerdet sein.

10. Die Verwendung von Leitungen mit einer Isolierung nach § 7 *a*, sowie von fest verlegter Leitungsschnur ist verboten.

11. Freileitungen müssen aus blanken Drähten von wenigstens 10 mm^2 Querschnitt bestehen.

Wo Freileitungen in die Nähe von Apparaten kommen, sind sie in Handbereich vor zufälliger Berührung zu schützen.

Die Freileitungen müssen mindestens 6 *m* von der Erdoberfläche entfernt sein.

Freileitungen in der Nähe von Gebäuden sind so anzubringen, dass sie von den Gebäuden aus ohne besondere Hilfsmittel nicht zugänglich sind.

12. Leitungen in und an Gebäuden müssen, soweit sie im Fabriksbetriebe der Berührung zugänglich sind, durch eine Verkleidung geschützt sein. Bei armierten Bleikabeln und metallumhüllten Leitungen kann die Schutzverkleidung wegfallen.

13. Lampen, die ohne besondere Hilfsmittel zugänglich sind, müssen eine geerdete Schutzumhüllung haben. Hahnfassungen aus Metall sind verboten.

Bei transportablen Lampen muss die Leitungsschnur mit einem Gummischlauch oder geerdeten Metall umgeben sein.

14. Lampenträger jeder Art müssen, sofern sie aus Metall sind, gegen Berührung geschützt oder geerdet sein.

15. Bogenlampen sind isoliert in die Laternen (Gehänge, Armaturen) einzusetzen, letztere sowohl wie die Aufzugsvorrichtungen sind zu erden.

16. Die Anlage ist, soweit sie unter diese Zusatzbestimmungen fällt, monatlich einmal auf brauchbaren Zustand, insbesondere auf Isolation zu prüfen. Über den Befund ist Buch zu führen.

17. Installationsarbeiten dürfen während des Betriebes nur von besonders geschultem Personal ausgeführt werden. Ein Einzelner, ohne Begleitung, darf niemals derartige Arbeiten vornehmen.

18. An passenden Stellen sind Vorschriften über die Behandlung von Personen die durch den elektrischen Strom betäubt sind, anzubringen.

Anhang *B*.

Kupfernormalien des Verbandes deutscher Elektrotechniker.

§ 1.

Der specifische Widerstand des Leitungskupfers wird gegeben durch den in Ohm ausgedrückten Widerstand eines Stückes von 1 *m* Länge und 1 mm^2 Querschnitt bei 15° C.

§ 2.

Als Leitfähigkeit des Kupfers gilt der reciproke Wert des durch § 1 festgesetzten specifischen Widerstandes.

§ 3.

Kupfer, dessen specifischer Widerstand größer ist als 0·0175, oder dessen Leitfähigkeit kleiner ist als 57, ist als Leitungskupfer nicht annehmbar.

§ 4.

Als Normalkupfer von 100% Leitfähigkeit gilt ein Kupfer, dessen Leitfähigkeit 60 beträgt.

§ 5.

Zur Umrechnung des specifischen Widerstandes oder der Leitfähigkeit von anderen Temperaturen auf 15° C. ist in allen Fällen, wo der Temperaturskoefficient nicht besonders bestimmt wird, ein solcher von 0·4% für 1° C. anzunehmen.

II. Sicherheitsvorschriften für elektrische Mittelspannungs-Anlagen.

Herausgegeben vom Verband deutscher Elektrotechniker. [1])

Die Vorschriften dieser Abtheilung gelten für elektrische Starkstromanlagen, beziehungsweise Theile von solchen, bei denen die effective Spannung zwischen irgend zwei Leitungen oder einer Leitung und Erde über 250 aber unter 1000 Volt beträgt, mit Ausnahme elektrischer Bahnanlagen. Derartige Anlagen werden als Mittelspannungs-Anlagen bezeichnet.

Allgemeines.

§ 1.

Bezeichnungen.

a) Isolation. Als isolierend im Sinne der folgenden Vorschriften gelten faserige oder poröse Isolierstoffe, die mit geeigneter Isoliermasse getränkt sind, ferner feste Isolierstoffe, die nicht hygroskopisch sind. Eine genügende Isolation bilden diese Stoffe dann, wenn sie in solcher Stärke verwendet werden, dass sie bei dem im Betriebe vorkommenden Temperaturen von einer Spannung, die die Betriebsspannung um 1000 Volt übersteigt (Überspannung von 1000 Volt), nicht durchschlagen werden.

b) Erdung. Einen Gegenstand im besonderen Sinne dieser Vorschriften erden, heißt ihn mit der Erde derart leitend verbinden, dass er eine für unisoliert stehende Personen gefährliche Spannung nicht annehmen kann.

c) Freileitungen. Als Freileitungen gelten alle außerhalb von Gebäuden an Isolatoren befestigten oberirdischen Leitungen ohne metallische Umhüllung und ohne Schutzverkleidung.

d) Isolierte Leitungen. Als isolierte Leitungen gelten umhüllte Leitungen, die nach 24stündigem Liegen im Wasser eine Überspannung von 1000 Volt gegen das Wasser eine Stunde lang aushalten.

e) Feuersichere Gegenstände. Als feuersicher gilt ein Gegenstand, der nicht entzündet werden kann, oder nach Entzündung nicht von selbst weiter brennt.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift. Berlin, 1899, S. 571.

f) Betriebsräume. Als Betriebsräume gelten Räume für elektrische Maschinen, Akkumulatoren und Apparate, soweit sie nur instruiertem Personal zugänglich sind.

§ 2.

Ubertritt höherer Spannung.

Der Übertritt höherer Spannung im Stromkreise für niedrige Spannung muss verhindert oder ungefährlich gemacht werden, z. B. durch erdende oder kurzschließende oder abtrennende Sicherungen oder durch dauernde Erdung geeigneter Punkte.

§ 3.

Erdung und Verbindung benachbarter Metalltheile.

Alle leitenden, nicht stromführenden Gegenstände in der Nähe von Theilen, die unter Spannung stehen, müssen, soweit sie von einer Person unabsichtlich gleichzeitig berührt werden können, miteinander leitend verbunden sein; sie dürfen isoliert sein, wenn es unmöglich ist, dass eine und dieselbe Person unabsichtlich diese Gegenstände und zugleich einen nicht isolierten Gegenstand berührt, oder wenn sie selbst als spannungslos zu haltende Theile einer Isolationseinrichtung dienen. (Betreffend besondere Vorschriften für Generatoren und Motoren siehe § 5).

Die äußere Metallumhüllung von Leitungen, der äußere Bleimantel oder die Armierung von Kabeln (mit Ausnahme von direct in die Erde verlegten Kabeln), sowie metallische Schutzverkleidungen von Theilen, die unter Spannung stehen, müssen geerdet sein. Metallene Schutzdrähte und Schutznetze sind zu erden, wo eine gute Erdung erreichbar ist; ist dies nicht der Fall, so sind anderweitige, entsprechend wirkende Sicherheitsmittel anzuwenden.

§ 4.

Vermeidung von Explosions- und Brandgefahr.

In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, dürfen Maschinen, mit Ausnahme derjenigen, die weder Bürsten noch Schleifkontakte haben, und Apparate, an denen betriebsmäßig Funken auftreten können, nur unter Verwendung von Schutzkästen, welche jede Feuersgefahr ausschließen, aufgestellt werden.

In allen Fällen ist die Aufstellung derart auszuführen, dass etwa im Betriebe der elektrischen Einrichtnng auftretende Feuererscheinungeu keine Entzündung brennbarer Stoffe hervorrufen können. Widerstände müssen so beschaffen sein, dass weder durch Erwärmung, noch durch Funkenbildung eine Entzündung der explosiblen Gemische hervorgerufen werden kann. Bogenlampenwiderstände und Bogenlampen, sowie nicht unter Luftabschluss brennende Glühlampen dürfen überhaupt nicht in solchen Räumen verwendet werden. Unter Luftabschluss brennende Glühlampen müssen dicht schließende Überglocken haben, die auch die Fassung einschließen.

§ 5.

Generatoren, Motoren und Transformatoren.

Die Gestelle von Dynamomaschinen, Motoren und von zugänglich aufgestellten Transformatoren müssen entweder isoliert und mit einem isolierenden Bedienungsgang umgeben oder dauernd geerdet sein. Für Transformatoren, die in einem besonderen Schutzverschlag stehen und nur besonders instruiertem Personale zugänglich sind, braucht diese Vorschrift nicht eingehalten zu werden.

§ 6.

Akkumulatoren.

In Akkumulatorenräumen darf keine andere als elektrische Glühlichtbeleuchtung verwendet werden. Solche Räume müssen dauernd gut ventiliert sein. Die einzelnen

Zellen sind gegen das Gestell und letzteres ist gegen Erde durch Glas, Porzellan oder ähnliche, nicht hygroskopische Unterlagen zu isolieren. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um beim Auslaufen von Säure eine Gefährdung des Gebäudes zu vermeiden. Während der Ladung dürfen in diesen Räumen glühende oder brennende Gegenstände nicht geduldet werden. Die Batterien müssen mit einem isolierenden Bedienungsgang umgeben und ihre Anordnung muss derart getroffen sein, dass bei der Bedienung eine zufällige gleichzeitige Berührung von Punkten, zwischen denen eine Spannung von mehr als 250 Volt herrscht, nicht erfolgen kann.

§ 7.

Schalttafeln.

Bei Schalttafeln ist Holz nur als Konstruktionsmaterial, nicht aber als Isolation zulässig. Schalttafeln, bei denen der einzelne Apparat mehr als 3 Kilowatt oder die Hauptleitungen mehr als 10 Kilowatt führen, müssen aus feuersicherem Material hergestellt werden.

Sicherungen, Schalter und alle Apparate, in denen betriebsmäßig Stromunterbrechung stattfindet, müssen derart angeordnet sein, dass etwa im Betriebe der elektrischen Einrichtungen auftretende Feuererscheinungen benachbarte brennbare Stoffe nicht entzünden können.

Schalttafeln müssen mit einem isolierenden Bedienungsgang umgeben sein, und soweit sie für nicht instruiertes Personal zugänglich sind, müssen sämmtliche Theile, die unter Spannung gegen Erde stehen, auf der Bedienungsseite durch Gehäuse vor Berührung geschützt sein. Die gleiche Vorschrift gilt auch für die Rückseite der Schalttafeln, sofern dieselben überhaupt begehbar ist. Bei Schalttafeln die betriebsmäßig auf der Rückseite zugänglich sein müssen, darf die Entfernung zwischen ungeschützten stromführenden Theilen der Schalttafel und der gegenüberliegenden Wand nicht weniger als 1 *m* betragen. Sind auf der letzteren ungeschützte stromführende Theile in erreichbarer Höhe vorhanden, so muss die horizontale Entfernung bis zu denselben 2 *m* betragen und der Zwischenraum durch Geländer getheilt sein. Im Übrigen wird bezüglich der Ausrüstung der Schalttafeln auf die §§ 13 *a* und *d*, 15, 16, 17 und 18 verwiesen.

Leitungen.

§ 8.

Querschnitt der Leitungen.

Die höchste zulässige Betriebsstromstärke für isolierte Leitungen und oberirdisch verlegte Kabel aus Kupfer, das den Normalien des Verbandes deutscher Elektrotechniker entspricht, ist nach folgender Tabelle zu bemessen.

Querschnitt in mm^2	Betriebsstromstärke in Ampère	Querschnitt in mm^2	Betriebsstromstärke in Ampère
0·75	2	35	80
1	4	50	100
1·05	6	70	130
2·05	10	95	165
4	15	120	200
6	20	150	235
10	30	185	275
16	40	240	330
25	60		

Blanke Kupferleitungen bis zu 50 *mm*² Querschnitt unterliegen den Vorschriften der vorstehenden Tabelle; blanke Kupferleitungen über 50 *mm*² können mit 2 Ampère für den Quadratmillimeter belastet werden. Auf Freileitungen und unterirdisch verlegte Kabel finden die vorstehenden Zahlenbestimmungen keine Anwendung. Bei Verwendung von Drähten aus anderen Metallen müssen die Querschnitte entsprechend größer gewählt werden.

Der geringste zulässige Querschnitt für isolierte Kupferleitungen ist ein Quadratmillimeter, an und in Beleuchtungskörpern $^3/_4$ *mm*².

Der geringste zulässige Querschnitt von blanken Leitungen, in Gebäuden ist 4 *mm*²; derjenige von Freileitungen aus Kupfer oder anderen Metallen von mindestens gleich großer Bruchfestigkeit ist 10 *mm*².

§ 9.

Freileitungen.

a) Freileitungen müssen für Spannungen über 500 Volt aus blanken Drähten bestehen. Bei geringeren Spannungen sind wetterbeständig isolierte Drähte zulässig. Freileitungen dürfen nur auf Isolierglocken verlegt werden.

b) Blanke Freileitungen müssen mindestens 5 *m*, bei Wegübergängen mindestens 6 *m* von der Erdoberfläche entfernt sein.

c) Freileitungen in der Nähe von Gebäuden, Brücken u. dgl. sind so anzubringen, dass sie ohne besondere Hilfsmittel nicht zugänglich sind.

d) Spannweite und Durchgang müssen so bemessen werden, dass Gestänge und Holz mit 10 facher und aus Eisen mit 5 facher Sicherheit und Leitungen bei — 20° C. mit 5 facher Sicherheit (bei Leitungen aus hartgezogenem Metall mit 3 facher Sicherheit) beansprucht sind. Dabei ist der Winddruck mit 125 *kg* für 1 *m*² senkrecht getroffener Fläche in Rechnung zu bringen.

e) Den örtlichen Verhältnissen entsprechend sind Freileitungen durch Blitzschutzvorrichtungen zu sichern, die auch bei wiederholten Blitzschlägen wirksam bleiben. Es ist dabei auf eine gute Erdleitung Bedacht zu nehmen, die unter möglichster Vermeidung von Krümmungen auszuführen ist. Fahrschienen können als Erdleitung benützt werden.

f) Bezüglich der Sicherung vorhandener Telephon- und Telegraphenleitungen gegen Freileitungen wird auf § 12 des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 verwiesen. [1])

§ 10.

Blanke Leitungen in Gebäuden.

Blanke Leitungen sind in Betriebsräumen als Kontaktleitungen auch in solchen Räumen, wo sie nur besonders instruiertem Personale zugänglich sind, ferner allgemein in feuersicheren Räumen ohne brennbaren Inhalt, soweit sie vor Beschädigungen und zufälliger Berührung geschützt sind, gestattet. Ausnahmsweise sind in nicht feuersicheren Räumen, in denen ätzende Dünste auftreten, blanke Leitungen zulässig, wenn sie durch einen geeigneten Überzug gegen chemische Beschädigung geschützt sind.

Blanke Leitungen sind nur auf Isolierglocken oder gleichwertigen Vorrichtungen zu verlegen und müssen, soweit sie nicht unausschaltbare Parallelzweige sind, bei Spann-

[1]) Dieser Paragraph lautet: Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Theiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst, nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beeinflussen.

weiten von mehr als 6 *m* mindestens 30 *cm*, bei Spannweiten von 4—6 *m* mindestens 20 *cm* und bei kleineren Spannweiten mindestens 15 *cm* von einander, in allen Fällen aber mindestens 10 *cm* von der Wand, beziehungsweise von Gebäudetheilen entfernt sein. Bei Verbindungsleitungen zwischen Akkumulatoren, Maschinen und Schalttafeln sind auch andere Isolierstücke und kleinere Abstände zulässig.

Betriebsmäßig geerdete blanke Leitungen fallen nicht unter die Bestimmungen dieses Paragraphen, müssen aber gegen mechanische und chemische Beschädigungen geschützt sein.

§ 11.
Isolierte Leitungen.

a) Isolierte Leitungen (Bezeichnung G) dürfen, soweit ätzende Dämpfe nicht zu fürchten sind, verwendet werden, wenn sie eine Gummiisolierung in Form einer ununterbrochenen nahtiosen und vollkommen wasserdichten Hülle besitzen. Die Gummiisolierung muss durch eine Umhüllung aus faserigem Material noch besonders geschützt sein.

b) Mehrfachleitungen sind in Innenräumen zulässig, wenn jeder Leiter nach § 11a isoliert ist. Es ist hierbei statthaft, die isolierten Leitungen anstatt einzeln, auch durch eine gemeinsame Umhüllung aus faserigem Material zu schützen. Verdrillte biegsame Mehrfachleitungen dürfen nicht fest verlegt werden.

c) Biegsame Leitungen zum Anschluss beweglicher Lampen und Apparate müssen mit einem Gummischlauch oder geerdetem Metall umgeben sein. Für hintereinander geschaltete Lampen, sowie als Ausschalterleitungen sind verdrillte Mehrfachleitungen nur in Betriebsräumen gestattet.

d) Wenn vulkanisierte Gummiisolierung verwendet wird, muss der Leiter verzinnt sein.

§ 12.
Bleikabel.

a) Blanke Bleikabel (Bezeichnung *KB*), bestehend aus einer oder mehreren Kupferseelen, starken Isolierschichten und einem nahtlosen einfachen, oder einem mehrfachen Bleimantel, müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt sein und dürfen nicht unmittelbar mit Stoffen, die das Blei angreifen, in Berührung kommen.

b) Asphaltierte Bleikabel (Bezeichnung *KA*) dürfen nur da verlegt werden, wo sie gegen mechanische Beschädigung geschützt sind.

c) Asphaltierte armierte Bleikabel (Bezeichnung *KE*) bedürfen eines besonderen mechanischen Schutzes nicht.

d) Bleikabel jeder Art dürfen nur mit Endverschlüssen, Abzweigmuffen oder gleichwertigen Vorkehrungen, die das Eindringen von Feuchtigkeit wirksam verhindern und gleichzeitig einen guten elektrischen Anschluss vermitteln, verwendet werden.

An den Befestigungsstellen ist darauf zu achten, dass der Bleimantel nicht eingedrückt oder verletzt wird; Rohrhaken sind daher nur bei armierten Kabeln als Befestigungsmittel zulässig.

Blanke Bleikabel, deren Kupferseele weniger als 6 mm^2 Querschnitt hat, sind nur dann zulässig, wenn ihre Isolierung aus vulkanisiertem Gummi oder gleichwertigem Stoff besteht.

e) Bei eisenarmierten Kabeln für Ein- oder Mehrphasenstrom müssen sämmtliche zu einem Stromkreise gehörigen Leitungen in demselben Kabel enthalten sein.

§ 13.
Leitungsverlegung.

a) Alle Leitungen und Apparate müssen auch nach der Verlegung in ihrer ganzen Ausdehnung in solcher Weise zugänglich sein, dass sie jederzeit geprüft und ausge-

wechselt werden können. Unterirdisch verlegte Leitungen unterliegen dieser Vorschrift nicht.

b) Leitungsdrähte dürfen nur durch Verlöthen, Verschrauben oder auf eine andere gleichwertige Verbindungsart mit einander und mit Apparaten verbunden werden. Drähte durch einfaches Umeinanderschlingen der Drahtenden zu verbinden, ist unzulässig.

Zur Herstellung von Löthstellen dürfen Löthmittel, die das Metall angreifen, nicht verwendet werden. Die fertige Verbindungsstelle ist entsprechend der Art der betreffenden Leitungen sorgfältig zu isolieren. Die Anschluss- und Abzweigstellen von freigespannten Leitungen müssen von Zug entlastet sein.

Die Verbindung der Leitungen mit den Apparaten ist mittels Klemmschrauben auszuführen.

Drahtseile bis zu 6 mm^2 und Drähte bis zu 25 mm^2 Kupferquerschnitt können mit angebogenen Ösen an die Apparate befestigt werden. Drahtseile über 6 mm^2 sowie Drähte über 25 mm^2 Kupferquerschnitt müssen mit Kabelschuhen oder einem gleich werthigen Verbindungsmittel versehen werden. Drahtseile von geringerem Querschnitt müssen, wenn sie nicht gleichfalls Kabelschuhe erhalten, an den Enden verlöthet werden.

c) Kreuzungen von Leitungen mit anderen Leitungen und mit sonstigen Metalltheilen sind so auszuführen, dass gegenseitige Berührung ausgeschlossen ist.

Bei Einrichtungen, bei denen ein Zusammenlegen von Leitungen unvermeidlich ist (in Röhren verlegte Leitungen, Reguliervorrichtungen), dürfen isolierte Leitungen so verlegt werden, dass sie sich berühren, wenn Vorsorge gegen Durchscheuern der Isolation getroffen ist.

d) Wand- und Deckendurchgänge sind entweder der in dem betreffenden Raume gewählten Verlegungsart entsprechend auszuführen, oder es sind haltbare Rohre (Holz ausgeschlossen), die ein bequemes Durchziehen der Leitungen gestatten, zu verwenden. In diesem Falle ist für jede einzeln verlegte Leitung, sowie für jede Mehrfachleitung je ein Rohr zu verwenden, und die Rohre sind so zu verlegen, dass sich Wasser nicht ansammeln kann. Die Rohre müssen über Decken- und Wandflächen mindestens 1 *cm* und über Fußböden mindestens 10 *cm* vorstehen und sind gegen mechanische Beschädigung zu schützen. In feuchten Räumen sind Rohre von genügender Isolierfähigkeit und mechanischer Festigkeit, deren Enden nach Art der Isolierglocken ausgebildet sind, zu verwenden, oder die Leitungen sind frei durch genügend weite Kanäle zu führen. Bei Wanddurchgängen ins Freie sind Einführungsstücke von feuersicherem Isolierstoff mit abwärts gekrümmtem, nach Art der Isolierglocken ausgebildeten Ende zu verwenden, oder die Leitungen sind frei durch genügend weite Kanäle zu führen. Bei Durchführungen der Leitungen durch hölzerne Wände und hölzerne Schalttafeln müssen die Öffnungen mit isolierenden und feuersicheren Tüllen ausgefüttert sein.

Betriebsmäßig geerdete Leitungen fallen nicht unter die Bestimmungen dieses Absatzes, sind aber gegen die Einflüsse der Mauerfeuchtigkeit zu schützen.

e) Soweit festverlegte Leitungen der Berührung zugänglich oder der mechanischen Beschädigung ausgesetzt sind, müssen sie durch Verkleidungen geschützt werden, die so hergestellt sein sollen, dass die Luft frei hinzutreten kann. Rohre gelten als Schutzverkleidung.

Armierte Bleikabel und metallumhüllte Leitungen, sowie sämmtliche Leitungen in Betriebsräumen unterliegen dieser Vorschrift nicht.

§ 14.

Isolierung und Befestigung der Leitungen.

Für die Befestigungsmittel und die Verlegung aller Arten von Leitungen gelten folgende Bestimmungen:

a) Isolierglocken dürfen im Freien nur in aufrechter Stellung, in gedeckten Räumen nur in solcher Lage befestigt werden, dass sich keine Feuchtigkeit in der Glocke ansammeln kann.

b) Rollen, Ringe und Klemmen müssen aus Porzellan oder Glas hergestellt und so geformt und angebracht sein, dass die Leitungen in einem lichten Abstande von wenigstens 1 *cm* von der Wand gehalten werden.

Bei Führung längs der Wand soll auf je 80 *cm* mindestens eine Befestigungsstelle kommen. Bei Führung an den Decken kann die Entfernung im Anschluss an die Deckenkonstruktion ausnahmsweise größer sein.

c) Mehrfachleitungen dürfen nicht so befestigt werden, dass ihre Einzelleiter aufeinander gepresst sind; metallene Bindedrähte sind hierbei nicht zulässig.

d) Rohre können zur Verlegung isolierter Leitungen unter Putz, in und auf Wänden, Decken und Fußböden verwendet werden, sofern sie die Leitungen dauernd gegen die Wirkungen der Feuchtigkeit schützen. Sie können aus Metall oder Isoliermaterial oder aus Metall mit isolierender Auskleidung bestehen. Es ist gestattet, Hin- und Rückleitung in dasselbe Rohr zu verlegen; jedoch dürfen nur solche Leitungen gleicher Polarität in einem gemeinsamen Rohr verlegt werden, die mit einer § 16 *e* entsprechenden Sicherung versehen sind; mehr als drei Leiter in demselben Rohre sind nicht zulässig. Bei Verwendnng eiserner Rohre für Ein- oder Mehrphasenstromleitungen müssen dagegen sämmtliche zu einem Stromkreise gehörigen Leitungen in demselben Rohre verlegt werden. Die lichte Weite der Rohre, die Zahl und der Radius der Krümmungen, sowie die Zahl der Dosen müssen so gewählt werden, dass man die Leitungen jederzeit leicht einziehen und entfernen kann. Die Leitungen dürfen erst nach Verlegung der Rohre eingezogen werden. Die Rohre sind so herzurichten, dass die Isolierung der Leitungen durch vorstehende Theile und scharfe Kanten nicht verletzt werden kann; die Stoßstellen müssen bei Metallrohren zum Zwecke der Erdung elektrisch leitend verbunden sein. Die Rohre sind so zu verlegen, dass sich an keiner Stelle Wasser ansammeln kann. Drahtverbindungen dürfen nicht innerhalb der Rohre, sondern nur in Verbindungsdosen ausgeführt werden, die jederzeit leicht geöffnet werden können.

Sofern Metallrohre als geerdete Leitungen dienen, unterliegen sie den allgemeinen Vorschriften über geerdete Leitungen, insbesondere den §§ 8 und 13 *a*.

e) Holzleisten sind zur Verlegung von Leitungen nicht gestattet. Krampen sind nur zur Befestigung von betriebsmäßig geerdeten blanken Leitungen in trockenen Räumen zulässig.

Apparate.

§ 15.

Allgemeines.

Die stromführenden Theile sämmtlicher Apparate müssen auf feuersicheren auch in feuchten Räumen ausreichend isolierten Unterlagen montiert und von Schutzkästen derart umgeben sein, dass sie sowohl vor Berührung geschützt als auch von brennbaren Gegenständen feuersicher getrennt sind.

Apparate auf Schalttafeln, soweit sie nur instruiertem Personale zugänglich sind, sowie Apparate, die im Freien in unzugänglicher Lage angebracht sind, können Schutzkästen entbehren. Die stromführenden Theile sämmtlicher Apparate müssen gegen die Erde ebenso sorgfältig isoliert sein, wie die in den betreffenden Räumen verlegten Leitungen. Bei Einführung von Leitungen muss der für die Leitung vorgeschriebene Abstand von der Wand gewahrt bleiben.

Die Kontakte sind derart zu bemessen, dass durch den stärksten vorkommenden Betriebsstrom keine Erwärmung von mehr als 50° C. über Lufttemperatur eintreten kann.

§ 16.

Sicherungen.

a) Nicht ausschaltbare Sicherungen müssen derart konstruiert oder angeordnet sein dass sie auch unter Spannung gefahrlos gehandhabt werden können; sie dürfen unter Spannung nur vom instruierten Personal gehandhabt werden.

b) Die neutralen oder Nullleitungen bei Mehrleiter- oder Mehrphasensystemen, sowie alle betriebsmäßig geerdeten blanken Leitungen dürfen keine Sicherungen enthalten; dagegen sind alle übrigen Leitungen, die von der Schalttafel nach den Verbrauchsstellen führen, durch Abschmelzsicherungen oder andere selbstthätige Stromunterbrecher zu schützen.

c) Für Anlagen in Innenräumen sind Sicherungen (mit Ausnahme des unter *e* angeführten Falles) an allen Stellen anzubringen, wo sich der Querschnitt der Leitungen in der Richtung nach der Verbrauchsstelle hin vermindert.

Bei Abzweigungen kann das Anschlussleitungsstück von der Hauptleitung zur Sicherung, wenn seine einfache Länge nicht mehr als 1 *m* beträgt, von geringerem Querschnitt sein als die Hauptleitung; es ist aber in diesem Falle von entzündlichen Gegenständen feuersicher zu trennen und darf nicht aus Mehrfachleitungen hergestellt sein. Bei größeren Längen ist das Anschlussleitungsstück bis zur Sicherung von gleichem Querschnitt zu wählen wie die Hauptleitung.

d) Biegsame Leitungen zum Anschluss von beweglichen Lampen, Motoren und Apparaten sind stets mittels lösbaren Kontaktes und Sicherung in jedem Pole abzuzweigen.

e) Die Stärke der zu verwendenden Sicherung richtet sich nach dem Querschnitt der zu schützenden Leitung in der Weise, dass die Normalstromstärke der Sicherung entweder gleich der höchsten nach § 8 zulässigen Betriebsstromstärke der Leitung oder schwächer zu wählen ist. Mehrere Vertheilungsleitungen können eine gemeinsame Sicherung von höchstens 6 Ampère Normalstromstärke erhalten. Querschnittsverminderungen oder Abzweigungen jenseits dieser Sichernng brauchen in diesem Falle nicht weiter gesichert werden.

f) Die Abschmelzstromstärke der Sicherung soll das Doppelte ihrer Normalstromstärke sein. Sicherungen bis einschließlich 50 Ampère Normalstromstärke müssen mindestens die $1^1/_4$fache Normalstromstärke dauernd tragen können; vom kalten Zustande aus plötzlich mit der doppelten Normalstromstärke belastet, müssen sie in längstens 2 Minuten abschmelzen.

g) Die Sicherungen müssen derart konstruiert sein, dass beim Abschmelzen, auch bei Kurzschluss, in der gesicherten Leitung kein dauernder Lichtbogen entstehen kann.

In Innenräumen muss bei Sicherungen von 20 Ampère Normalstromstärke durch die Konstruktion eine irrthümliche Verwendung zu starker Einsätze ausgeschlossen sein.

Bei Sicherungen dürfen weiche plastische Metalle und Legierungen nicht unmittelbar den Kontakt vermitteln, sondern es müssen die Schmelzdrähte oder Schmelzstreifen in Kontaktstücke aus Kupfer oder gleichgeeignetem Metall eingelöthet sein.

h) Die Maximalspannung und die Normalstromstärke sind auf dem auswechelbaren Einsatz der Sicherung zu verzeichnen.

i) Sicherungen sind möglichst zu centralisieren und in handlicher Höhe anzubringen. sie müssen derart konstruiert und angebracht sein, dass sie gefahrlos funktionieren.

k) In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, dürfen Sicherungen nur in luftdichten und explosionssicheren Schutzkästen angebracht werden.

§ 17.

Aus- und Umschalter.

a) Stromerzeuger, Motoren sowie selbständig gesicherte Lampengruppen und andere Stromverbraucher müssen derart ausschaltbar sein, dass nach Ausschalten kein Theil hinter den Schaltern unter Spannung steht; in Hausinstallationen müssen die Ausschalter derart sein, dass diese Ausschaltung durch einen Handgriff erfolgt. Nullleiter und betriebsmäßig geerdete Leitungen dürfen entweder gar nicht oder nur nach oder gleichzeitig mit den zugehörigen Außenleitern ausschaltbar sein.

b) Die Schalter müssen so konstruiert sein, dass sie nur in geschlossener oder offener Stellung, nicht aber in einer Zwischenstellung verbleiben können.

Hebelschalter für Ströme über 30 Ampère und alle Hebelschalter in Betriebsräumen sind von dieser Vorschrift ausgenommen.

Die Wirkungsweise aller Schalter muss derart sein, dass sich kein dauernder Lichtbogen bilden kann.

c) Die normale Betriebsstromstärke und Spannung, für die ein Schalter gebaut ist, sind auf demselben zu vermerken.

d) Ausschalter müssen erkennen lassen, ob der Stromkreis geschlossen oder offen ist.

e) Metallkontakte sollen Schleifkontakte sein.

f) In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, ist die Aufstellung von Ausschaltern und Umschaltern nur in Schutzkästen, die jede Feuersgefahr ausschließen, zulässig.

g) Schalter müssen mit Schutzgehäusen aus Isolierstoff oder geerdetem Metall versehen sein, desgleichen müssen ihre aus den Schutzgehäusen hervorragenden Theile, wie Griffe und dergleichen, aus Isoliermaterial bestehen oder geerdetes Metall enthalten (Ausnahme vergleiche § 15 Abs. 2).

§ 18.

Widerstände.

Widerstands- und Heizapparate, bei denen eine Erwärmung um mehr als 50° *C* eintreten kann, sind derart anzuordnen, dass eine Berührung zwischen den Wärme entwickelnden Theilen und entzündlichen Stoffen, sowie eine feuergefährliche Erwärmung der Letzteren nicht vorkommen kann.

Widerstandsapparate dürfen nur auf feuersicherer Unterlage, und zwar freistehend oder an feuersicheren Gebäudetheilen angebracht werden. Für Räume, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Staub, Fasern oder Gasen vorhanden sind, vergleiche die Bestimmungen des § 4.

Lampen und Zubehör.

§ 19.

Allgemeines.

a) Die unter Spannung stehenden Theile von Lampen und Zubehör müssen, soweit sie ohne besondere Hilfsmittel erreichbar sind, durch eine Umhüllung aus Isoliermaterial oder geerdetem Metall geschützt sein.

b) Um während der Bedienung der Lampen alle Theile derselben spannungslos zu machen, sind mindestens für jede selbständig gesicherte Lampengruppe in allen unter Spannung stehenden Leitungen Ausschalter anzubringen.

c) Bei Reihenschaltung von Lampen außerhalb von Betriebsräumen muss jede Lampe mit einer Vorrichtung versehen sein, welche bei Stromunterbrechung in der Lampe selbstthätig Kurzschluss oder Nebenschluss herstellt.

§ 20.

Lampenträger.

a) Metallene Lampenträger jeder Art müssen entweder gegen Berührung geschützt oder geerdet sein.

b) Beleuchtungskörper müssen so angebracht werden, dass die Zuführungsdrähte durch Drehen des Körpers nicht verletzt werden können.

c) An und in Beleuchtungskörpern ist isolierter Draht oder Mehrfachleitung (G; § 11) verwendbar. Wenn der Draht an der Außenseite des Beleuchtungskörpers geführt ist, muss er derart befestigt sein, dass er seine Lage nicht verändern kann, und dass eine Beschädigung der Isolierung durch die Befestigung ausgeschlossen ist.

§ 21.

Glühlampen.

a) In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, dürfen nur unter Luftabschluss brennende Glühlampen mit dichtschließenden Überglocken, die auch die Fassungen einschließen, verwendet werden. Glühlampen die mit entzündlichen Stoffen in Berührung kommen können, müssen mit Schalen, Glocken oder Drahtgittern versehen sein, durch die die Berührung der Lampen mit entzündlichen Stoffen verhindert wird.

b) Die stromführenden Theile der Fassungen müssen auf feuersicherer Unterlage montiert, und durch feuersichere Umhüllung, die jedoch nicht unter Spannung gegen Erde stehen darf, vor Berührung geschützt sein. Stoffe, die in der Wärme entzündlich sind oder Formveränderungen erleiden, sind als Bestandtheile im Innern der Fassung ausgeschlossen.

c) Ausschalter an Fassungen sind verboten.

d) Die unter Spannung stehenden Theile der Glühlampen müssen vor Berührung geschützt sein.

e) Schnurpendel aus biegsamer Mehrfachleitung sind nur dann zulässig, wenn das Gewicht der Lampe nebst Schirm von einer besonderen Tragschnur getragen wird, die mit der Litze verflochten sein kann.

Sowohl an der Aufhängestelle als auch an der Fassung müssen die Leitungsdrähte länger sein als die Tragschnur, damit kein Zug auf die Leitungsdrähte ausgeübt wird.

§ 22.

Bogenlampen.

a) In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, dürfen Bogenlampen nicht verwendet werden.

b) Bogenlampen dürfen ohne Vorrichtungen, die ein Herausfallen glühender Kohlentheilchen verhindern, nicht verwendet werden.

c) Bogenlampen sind isoliert in die Laterne (Gehänge, Armaturen) einzusetzen. Die Aufhängevorrichtung ist in allen Fällen zu erden. Die Laterne ist zu erden, wenn sie der Berührung zugänglich ist, während die Lampe unter Spannung steht.

d) Die Einführungsöffnungen für die Leitungen müssen so beschaffen sein, dass die Isolierhülle der letzteren nicht verletzt werden und Feuchtigkeit in das Innere der Laterne nicht eindringen kann.

e) Soweit die Zuleitungsdrähte der Berührung zugänglich sind, während die Lampe unter Spannung steht, müssen sie isoliert und mit einer geerdeten Metallumhüllung versehen sein.

f) Bei der Verwendung der Zuleitungsdrähte als Aufhängevorrichtung dürfen die Anschlussstellen der Drähte nicht durch Zug beansprucht und die Drähte nicht verdrillt werden.

Isolation der Anlagen.

§ 23.

Überwachung.

Vor Inbetriebsetzung einer Anlage ist durch Isolationsprüfung mit mindestens 100 Volt Spannung festzustellen, ob Isolationsfehler vorhanden sind. Das Gleiche gilt von jeder Erweiterung der Anlage.

Für Centralen sind nach Möglichkeit Vorrichtungen vorzusehen, durch welche man sich über den Isolationszustand der Anlage dauernd unterrichtet hält. Über das Ergebnis ist Buch zu führen.

Zur dauernden Erhaltung des vorgeschriebenen Zustandes der Gestänge der Leitungen, der Sicherheitsvorrichtungen und der Erdung mit ihren Kontakten muss eine Überwachung in der Weise stattfinden, dass jährlich mindestens einmal eine eingehende Revision und außerdem vierteljährlich mindestens einmal eine Begehung sämmtlicher oberirdischer Fernleitungen stattfindet. Über den Befund ist Buch zu führen.

§ 24.

Isolationswert.

a) Der Isolationswiderstand muss für die in Innenräumen isoliert verlegten Theile des Leitungsnetzes mindestens $\frac{3000000}{n}$ Ohm betragen. Außerdem muss für jede Hauptabzweigung die Isolation mindestens $10000 + \frac{3000000}{n}$ Ohm betragen. In diesen Formeln ist unter n die Zahl der an die betreffende Leitung angeschlossenen Glühlampen zu verstehen, einschließlich eines Äquivalentes von 10 Glühlampen für jede Bogenlampe, jeden Elektromotor oder anderen stromverbrauchenden Apparat.

b) Der Isolationswiderstand von Freileitungen muss bei Regenwetter mindestens 100.000 Ohm für das Kilometer einfacher Länge betragen.

§ 25.

Messungen.

a) Bei Messungen von Neuanlagen muss nicht nur die Isolation zwischen den Leitungen und der Erde, sondern auch die Isolation je zweier Leitungen verschiedenen Potentiales gegen einander gemessen werden; hierbei müssen alle Glühlampen, Bogenlampen, Motoren oder andere stromverbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt, dagegen alle vorhandenen Beleuchtungskörper angeschlossen, alle Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen sein. Reihenstromkreise dürfen jedoch nur an einer einzigen Stelle geöffnet werden, die möglichst nahe der Mitte zu wählen ist. Dabei müssen die Isolationswiderstände den Formeln des § 24 genügen.

b) Bei Isolationsmessung durch Gleichstrom gegen Erde soll, wenn möglich, der negative Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung gelegt werden, und die Messung soll erst erfolgen, nachdem die Leitung während einer Minute der Spannung ausgesetzt war. Alle Isolationsmessungen müssen, wenn möglich, mit der Betriebsspannung, mindestens aber mit einer Spannung von 100 Volt angestellt werden.

§ 26.

Schutzmaßregeln beim Betriebe.

a) Das Arbeiten an Theilen des Leitungsnetzes ist nur nach vorheriger Ausschaltung und einer unmittelbar an der Arbeitsstelle vorgenommenen Erdung und Kurzschließung der stromführenden Theile gestattet.

Das Arbeiten an unter Spannung stehenden Apparaten und Stromverbrauchern ist verboten. Die zu behandelnden Theile sind vorher allpolig abzuschalten, und die Stellung der Ausschalter ist durch Verriegelung zu sichern. Das Auswechseln von Glühlampen ist nur gestattet, wenn der Stromkreis vollständig abgeschaltet ist. Die Bedienung von Bogenlampen ist nur gestattet, nachdem die Lampe von dem Stromkreise vollständig abgeschaltet und entweder geerdet oder durch eine geerdete Vorrichtung von der Leitung entfernt worden ist.

Ausnahmen von den Bestimmungen der beiden vorigen Absätze sind in Centralen und in Unterstationen (Transformatorenstationen) gestattet. In diesen darf an unter Spannung stehenden Theilen gearbeitet werden, jedoch nur von instruiertem Personal und wenn möglich, in Gegenwart einer zweiten Person. Ebenfalls ausnahmsweise kann die Bedienung von Kollektoren und Schleifbürsten im Betriebe von instruiertem Personal ausgeführt werden, jedoch nur dann, wenn der Bedienende isoliert steht, und wenn die Bedienung ohne Berührung des Gestelles oder des anderen Poles leicht möglich ist.

Die Handhabung von Schaltern, sowie das Auswechseln von Sicherungen, die der Bestimmung des § 16 *a* entsprechen, sind nicht als Arbeiten im Sinne der vorstehenden Bestimmungen zu betrachten.

b) In Innenräumen, in denen betriebsmäßig blanke, unter Spannung stehende Theile unvermeidlich sind, müssen Warnungstafeln angebracht sein. Wo solche Theile vorkommen, müssen die Stromkreise innerhalb des von ihnen versorgten Raumes ausschaltbar sein, und der Raum darf nur bei ausreichender Beleuchtung betreten werden

c) In jeder Betriebsstätte sind Vorschriften über die Behandlung von Personen, die durch elektrischen Strom betäubt sind, sichtbar anzubringen.

§ 27.

Pläne.

Für jede Starkstromanlage soll bei Fertigstellung ein Plan und ein Schaltungsschema hergestellt werden. Der Plan soll enthalten:

a) Bezeichnung der Räume nach Lage und Verwendung. Besonders hervorzuheben sind feuchte Räume und solche, in denen ätzende oder leicht entzündliche Stoffe oder explosible Gemische von Gasen, Staub und Fasern vorkommen.

b) Lage, Querschnitt und Isolierungsart der Leitungen. Der Querschnitt wird in Quadratmillimetern ausgedrückt, neben die Leitungslinien gesetzt. Die Isolierungsart wird durch die unten angeführten Buchstaben bezeichnet.

c) Art der Verlegung (Isolierglocken, Rollen, Klemmen, Rohre etc.); hierfür sind ebenfalls nachstehend Bezeichnungen angegeben.

d) Lage der Apparate und Sicherungen.

e) Lage und Art der Lampen, Elektromotoren und sonstigen Stromverbraucher.

Für alle diese Pläne sind folgende Bezeichnungen anzuwenden:

⏚ = Erdung.

× = Feste Glühlampen.

= Bewegliche Glühlampen.

= Fester Lampenträger mit Lampenzahl (5).

= Beweglicher Lampenträger mit Lampenzahl (3).

Obige Zeichen gelten für Glühlampen jeder Größe.

= Bogenlampe mit Angabe der Stromstärke (6) in Ampère.

= Dynamomaschine, beziehungsweise Elektromotor jeder Stromart mit Angabe der höchsten zulässigen Beanspruchung in Kilowatt.

= Akkumulatoren.

= Wandfassung, Anschlussdose.

= Einpoliger, beziehungsweise zweipoliger, beziehungsweise dreipoliger Ausschalter mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (6) in Ampère.

= Umschalter, desgleichen.

= Sicherung (an der Abzweigstelle).

= Widerstand, Heizapparate und dergleichen mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (10) in Ampère.

= Desgleichen beweglich angeschlossen.

= Transformator mit Angabe der Leistung in Kilowatt (7·5).

= Drosselspule.

= Blitzschutzvorrichtung.

= Zweileiter, beziehungsweise Dreileiter oder Drehstromzähler mit Angabe des Messbereichs in Kilowatt (5, beziehungsweise 20).

= Zweileiter-Schalttafel.

= Dreileiter-Schalttafel oder Schalttafel für mehrphasigen Wechselstrom.

= Einzelleitung.

= Hin- und Rückleitung.

= Dreileiter- oder Drehstromleitung.

= Fest verlegte Mehrfachleitung jeder Art.

= nach oben führende Steigleitung.

= nach unten führende Steigleitung.

B = Blanker Kupferdraht.
BE = Blanker Eisendraht.
G = Leitung nach § 11 *a*.
KB = Kabel nach § 12 *a*.
KA = Kabel nach § 12 *b*.
(*KE* = Kabel nach § 12 *c*.
(*g*) = Verlegung auf Isolierglocken nach § 14 *a*.

(*r*) = Verlegung auf Rollen oder Ringen nach § 14 *b*.
(*k*) = Verlegung auf Klemmen nach § 14 *b*.
(*o*) = Verlegung in Rohren nach § 14 *d*.
Das Schaltungsschema soll enthalten:

Querschnitte der Hauptleitungen und Abzweigungen von den Schalttafeln mit Angabe der Belastung in Ampère.

Die Vorschriften dieses Paragraphen gelten auch für alle Abänderungen und Erweiterungen.

Der Plan und das Schaltungsschema sind von dem Besitzer der Anlage aufzubewahren.

§ 28.

Schlussbestimmungen.

Die vorstehenden Vorschriften treten vom 1. Oktober 1899 ab für Neuanlagen und Erweiterungen als vorläufige, vom Verband deutscher Elektrotechniker genehmigte Richtschnur in Kraft.

Der Verband deutscher Elektrotechniker behält sich vor, dieselben den Fortschritten und Bedürfnissen der Technik entsprechend abzuändern.

Der Vorsitzende der Sicherheitscommission
Budde.

III. Sicherheitsvorschriften für elektrische Hochspannungsanlagen.

Herausgegeben vom Verband deutscher Elektrotechniker.[1])
(Angenommen von der VI. Jahresversammlung in Frankfurt a. M. 1898).

Die nachstehenden Vorschriften gelten für elektrische Starkstromanlagen, bei denen die effektive Spannung zwischen irgend zwei Leitungen 1000 Volt oder mehr beträgt.

Derartige Anlagen werden als Hochspannungsanlagen bezeichnet.

§ 1.

a) Isolation. Als isolierend im Sinne der Hochspannungs-Vorschriften gelten faserige und poröse Isoliermaterialien, welche mit geeigneter Isoliermasse getränkt sind, ferner feste Isoliermaterialien, welche nicht hygroskopisch sind und bei $^1/_4$ der verwendeten Stärke und den im Betriebe vorkommenden Temperaturen von der in Betracht kommenden Spannung nicht durchgeschlagen werden.

Material, wie Schiefer, Holz oder Fiber, darf als Konstruktionsmittel, nicht aber als Isoliermaterial angewendet werden.

Das Isoliermaterial muss derart gestaltet und bemessen sein, dass ein merklicher Stromübergang über die Oberfläche (Oberflächenleitung) unter normalen Umständen nicht eintreten kann.

b) Erdung. Einen Gegenstand erden heißt ihn mit der Erde derart leitend zu verbinden, dass er eine für unisoliert stehende Person gefährliche Spannung nicht annehmen kann.

c) Freileitungen. Als Freileitungen gelten alle außerhalb von Gebäuden auf Isolierglocken verlegten oberirdischen Leitungen ohne metallische Umhüllung und ohne Schutzverkleidung.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1898, S. 501.

d) Isolierte Leitungen. Als isolierte Leitungen gelten umhüllte Leitungen, welche nach vierundzwanzigstündigem Liegen im Wasser bei Spannungen unter 3000 Volt die doppelte Betriebsspannung, bei höheren eine Überspannung von 3000 Volt gegen das Wasser eine Stunde lang aushalten.

e) Metallumhüllte Leitungen. Als metallumhüllte Leitungen gelten isolierte Leitungen, welche in Rohre aus Metall oder mit Metallüberzug eingezogen sind.

f) Feuersichere Gegenstände. Als feuersicher gilt ein Gegenstand, der nach Entzündung nicht von selbst weiter brennt.

Allgemeines.

§ 2.

Warnungszeichen.

Träger und Schutzverkleidungen von Hochspannungsleitungen müssen durch einen deutlich sichtbaren, rothen Zickzackpfeil (Blitzpfeil) gekennzeichnet sein. Wo Kabel oder metallumhüllte Leitungen in oder an Decken, Wänden und Fußböden verlegt sind, muss der Verlauf der Leitungen durch das gleiche Zeichen kenntlich gemacht werden. Außerdem ist an geeigneten Stellen durch Anschlag auf die Bedeutung dieses Zeichens aufmerksam zu machen.

§ 3.

Übertritt hoher Spannungen.

Die Entstehung hoher Spannungen in Niederspannungs-Stromkreisen muss verhindert oder ungefährlich gemacht werden, z. B. durch erdende oder kurzschließende Sicherungen oder durch dauernde Erdung geeigneter Punkte.

§ 4.

Erdung benachbarter Metalltheile.

Die äußere metallische Umhüllung von Leitungen (mit Ausnahme von direkt in die Erde verlegten Kabeln), Schutzdrähte, Schutznetze und die metallische Umhüllung der Schutzkästen und Schutzverkleidungen von stromführenden Theilen müssen geerdet sein.

§ 5.

Vermeidung von Explosions- und Brandgefahr.

In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, dürfen Maschinen und Apparate nur in Schutzkästen, welche jede Feuersgefahr ausschließen, aufgestellt werden. In allen Fällen ist die Aufstellung derart auszuführen, dass etwaige im Betriebe der elektrischen Einrichtungen auftretende Feuererscheinungen keine Entzündung brennbarer Stoffe hervorrufen können.

Maschinen und Transformatoren.

§ 6.

Generatoren und Motoren.

a) Mit isoliertem Gestell. Die Maschinen müssen mit einem isolierenden Bedienungsgang umgeben werden. Die Anordnung muss derart getroffen sein, dass die Bedienung ohne gleichzeitige Berührung eines Hochspannung führenden Theiles und des Gestelles oder eines nicht isolierten Körpers erfolgen kann.

b) Mit geerdetem Gestell. Die Hochspannung führenden Theile müssen, soweit sie im Betriebe zugänglich sind, durch Schutzverkleidung aus geerdetem Metall oder isolierendem Material gegen Berührung geschützt sein.

§ 7.

Erregerstromkreise von Hochspannungsmaschinen.

Wenn das Gestell von Hochspannungsmaschinen nicht geerdet ist, so gelten die Vorschriften des § 6 auch für Erregerstromquellen und sonstige mit den Hochspannungsmaschinen in Verbindung stehende Niederspannungsstromkreise.

§ 8.

Transformatoren.

a) Für zugänglich aufgestellte Transformatoren gelten die Vorschriften des § 6.

Für Transformatoren, welche in besonderen abgeschlossenen Räumen oder Behältern aufgestellt und nur besonders instruiertem Personal zugänglich sind, brauchen diese Vorschriften nicht eingehalten zu werden, sofern eine Vorrichtung angebracht ist, mittelst welcher vor Hantierung das Gestell geerdet werden kann.

b) Bei Reihenschaltung muss entweder durch entsprechende Konstruktion des Transformators oder durch eine selbstthätige Vorrichtung dafür gesorgt sein, dass bei Unterbrechung des sekundären Stromkreises eine gefährliche Erhitzung des Transformators nicht eintreten kann.

c) Die Hochspannungswickelungen müssen bei Spannungen unter 3000 Volt die doppelte Betriebsspannung, bei höheren eine Überspannung von 3000 Volt gegen Erde, gegen Gestell und gegen Niederspannungswickelungen eine Stunde lang aushalten können.

Akkumulatoren für Hochspannung.

§ 9.

In Akkumulatoren-Räumen darf keine andere als elektrische Glühlicht-Beleuchtung verwendet werden. Solche Räume müssen dauernd gut ventiliert sein. Die einzelnen Zellen sind gegen das Gestell und letzteres ist gegen Erde durch Glas, Porzellan oder ähnliche nicht hygroskopische Unterlagen zu isolieren. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um beim Auslaufen von Säure eine Gefährdung des Gebäudes zu vermeiden. Während der Ladung dürfen in diesen Räumen glühende oder brennende Gegenstände nicht geduldet werden.

Die Hochspannungs-Batterien müssen mit einem isolierenden Bedienungsgang umgeben und ihre Anordnung muss derart getroffen sein, dass bei der Bedienung eine gleichzeitige Berührung von Punkten, zwischen denen eine Spannung von mehr als 250 Volt herrscht, nicht erfolgen kann. Niederspannungs-Batterien, welche zur Erregung von Hochspannungs-Maschinen dienen, unterliegen diesen Vorschriften gleichfalls, wenn die Gestelle der zugehörigen Maschinen nicht geerdet sind.

Hochspannungs-Apparate.

§ 10.

Schalttafeln.

Die Schalttafeln, mit Ausnahme des Gerüstes und der Umrahmung, müssen aus feuersicherem Material bestehen; für die isolierenden Theile gelten die Vorschriften des § 1 *a*.

a) Die Bedienungsseite. Wird ein isolierender Bedienungsgang verwendet, so müssen die stromführenden Theile der Messinstrumente, Sicherungen und Schalter der Berührung unzugänglich angeordnet sein; alle der Berührung zugänglichen, nicht stromführenden Metalltheile dieser Apparate und des Gerüstes müssen unter sich metallisch verbunden und von der Erde isoliert sein.

Wird kein isolierender Bedienungsgang verwendet, so müssen die stromführenden Theile der Messinstrumente, Sicherungen und Schalter, sofern sie nicht geerdet sind, der Berührung unzugänglich angeordnet sein; die zugänglichen nicht stromführenden Metalltheile dieser Apparate und des Gerüstes müssen geerdet sein.

b) Rückseite. Die gleichen Vorschriften gelten auch für die Rückseite der Schalttafel, sofern diese Seite nicht derart abgeschlossen ist, dass nur besonders instruiertes Personal Zutritt hat. Bei Schalttafeln, welche betriebsmäßig auf der Rückseite zugänglich sein müssen, darf die Entfernung zwischen ungeschützten stromführenden Theilen der Schalttafel und der gegenüber liegenden Wand nicht weniger als 1 *m* betragen. Sind auf der letzteren ungeschützte stromführende Theile in erreichbarer Höhe vorhanden, so muss die horizontale Entfernung bis zu denselben 2 *m* betragen und der Zwischenraum durch Geländer getheilt sein.

§ 11.

Apparate.

a) Alle Apparate müssen derart konstruiert und angebracht sein, dass eine Verletzung von Personen durch Splitter, Funken und geschmolzenes Material ausgeschlossen ist.

b) Die stromführenden Theile der sämmtlichen in Hochspannungs-Leitungen eingeschalteten Apparate müssen auf feuersicherer, isolierender Unterlage montiert und von Schutzkästen, soweit erforderlich, derart umgeben sein, dass sie von brennbaren Gegenständen feuersicher getrennt sind. Alle Theile von Apparaten, welche eine hohe Spannung annehmen können, müssen, soweit sie in Handbereich sind, durch einzelne Schutzkästen oder gemeinsamen Abschluss gegen Berührung geschützt sein.

Apparate, welche im Freien an Masten in der in § 16 *b* für Freileitungen vorgeschriebenen Höhe angebracht sind, können Schutzkästen entbehren. Alle Kontakte müssen derart konstruiert sein, dass durch den stärksten vorkommenden Betriebsstrom eine Erwärmung von mehr als 50° C. über Lufttemperatur nicht eintreten kann.

§ 12.

Sicherungen.

a) Sämmtliche Leitungen, welche von der Schalttafel nach den Verbrauchsstellen führen, sind durch Abschmelzsicherungen oder andere selbstthätige Stromunterbrecher zu schützen; ausgenommen sind neutrale oder Null-Leitungen bei Mehrleiter- oder Mehrphasensystemen, sowie alle betriebsmäßig geerdeten Leitungen; alle diese dürfen keine Sicherungen enthalten.

b) Die höchste zulässige Abschmelzstromstärke bestimmt sich nach folgender Tabelle:

Leitungsquerschnitt in mm^2	Normalstromstärke der Sicherung in Ampère	Abschmelzstromstärke der Sicherung in Ampère
1·5	6	12
2·5	10	20
4	15	30
6	20	40
10	30	60
16	40	80
25	60	120
35	80	160
50	100	200
70	130	260
95	165	330
120	200	400
150	235	470
185	275	550
240	330	660

Es ist zulässig, die Sicherung für eine Leitung schwächer zu wählen, als in dieser Tabelle angegeben.

c) Sicherungen sind an allen Stellen anzubringen, wo sich der Querschnitt der Leitung vermindert. Das Anschluss-Leitungsstück zwischen Hauptleitung und Sicherung kann von geringerem Querschnitt sein als die Hauptleitung, ist aber in diesem Falle von entzündlichen Gegenständen feuersicher zu trennen und derart zu befestigen, dass Kurz- und Erdschlüsse auf der Strecke zwischen Sicherung und Abzweigstelle nicht eintreten können.

d) Die Sicherungen müssen derart konstruiert sein, dass beim Abschmelzen auch bei Kurzschluss hinter der Sicherung auch kein dauernder Lichtbogen entstehen kann.

Bei Sicherungen dürfen weiche plastische Metalle und Legierungen nicht unmittelbar den Kontakt vermitteln, sondern es müssen die Schmelzdrähte oder Schmelzstreifen in Kontaktstücke aus Kupfer oder gleichgeeignetem Metall enden.

e) Sicherungen müssen derart konstruiert und angebracht sein, dass sie auch unter Spannung gefahrlos gehandhabt werden können.

§ 13.

Blitzschutz-Vorrichtungen.

Alle Maschinen und Apparate, welche mit Freileitungen in Verbindung stehen, müssen an passenden Stellen durch Blitz-Schutzvorrichtungen gesichert sein, die auch bei wiederholten Blitzschlägen wirksam bleiben. Es ist dabei auf eine gute Erdleitung Bedacht zu nehmen, welche unter möglichster Vermeidung von Krümmungen auszuführen ist.

§ 14.

a) Die Schalter müssen derart konstruiert sein, dass auch beim Ausschalten des vollen Betriebsstromes sich kein dauernder Lichtbogen bilden kann.

b) Jede Hauptabzweigung soll für alle Pole, sofern nicht die Sicherungen das Ausschalten unter Strom ermöglichen, Ausschalter erhalten, gleichviel ob für die einzelnen Unterabzweigungen noch besondere Ausschalter angebracht sind oder nicht; doch gelten folgende Ausnahmen: Betriebsmäßig geerdete Leitungen dürfen keine Ausschalter enthalten; Null-Leiter dürfen nur gleichzeitig mit den Außenleitern ausschaltbar sein.

c) Wenn kein isolierender Bedienungsgang am Schalter und am stromverbrauchenden Apparat verwendet wird, so muss der Schalter nach dem Ausschalten den Verbrauchsstromkreis erden; die nicht stromführenden Metalltheile der Schalter müssen, sofern sie der Berührung zugänglich sind, dauernd geerdet sein. Wird ein isolierender Bedienungsgang verwendet, so gelten die für diesen Fall in den §§ 6 und 10 angeführten Vorschriften.

Leitungen.

§ 15.

Allgemeines.

a) Die Abstände stromführender Leitungen von einander und von fremden Gegenständen sind derart zu bemessen, dass sowohl Berührung als auch Stromübergang ausgeschlossen ist.

b) Drahtverbindungen. Drähte dürfen nur durch Verlöthen oder eine gleich gute Verbindungsart mit einander verbunden werden; es ist insbesondere unzulässig, Drähte nur durch Umeinanderschlingen der Drahtenden mit einander zu verbinden.

Zur Herstellung von Löthstellen dürfen Löthmittel, welche das Metall angreifen, nicht verwendet werden. Die Isolation der fertigen Verbindungsstellen muss gleichwertig mit der Isolation der Leitung sein. Abzweigungen von frei gespannten Leitungen sind von Zug zu entlasten.

Zum Anschluss an Schalttafeln oder Apparate sind alle Leitungen über 25 mm^2 Querschnitt mit Kabelschuhen oder gleichwertigen Verbindungsmitteln zu versehen. Drahtseile von geringerem Querschnitt müssen, wenn sie nicht gleichfalls Kabelschuhe erhalten, an den Enden verlöthet sein.

§ 16.

Freileitungen.

a) Freileitungen müssen aus blanken Drähten bestehen.

b) Höhe der Freileitungen. Freileitungen müssen mindestens 6 *m*, bei Wegübergängen mindestens 7 *m* von der Erdoberfläche entfernt sein.

c) Freileitungen in der Nähe von Gebäuden sind so anzubringen, dass sie von den Gebäuden aus ohne besondere Hilfsmittel nicht zugänglich sind.

d) Mechanische Festigkeit der Freileitungen und des Gestänges. Freileitungen müssen mit Rücksicht auf mechanische Festigkeit einen Mindestquerschnitt von 10 mm^2 haben. Spannweite und Durchhang müssen derart bemessen werden, dass Gestänge aus Holz mit 10facher und aus Eisen mit 5facher Sicherheit und Leitungen bei — 25° C. mit 5facher Sicherheit ausgeführt sind. Dabei ist der Winddruck mit 125 *kg* für 1 m^2 senkrecht getroffener Fläche in Rechnung zu bringen.

§ 17.

Schutzmaßregeln bei Freileitungen.

a) Für Freileitungen längs öffentlicher Wege außerhalb von Ortschaften müssen Vorrichtungen angebracht werden, welche bei Bruch der Leitungen oder der Isolatoren ein Herabfallen der Leitungen hindern oder sie spannungslos machen.

b) Schutzdrähte sind zu verwenden: in Ortschaften, ferner über einzeln liegenden bebauten Grundstücken und bei Kreuzungen öffentlicher Wege.

c) Freileitungen in Ortschaften müssen streckenweise während des Betriebes ausschaltbar sein.

d) Gegenseitiger Schutz benachbarter Leitungen. Bei parallelem Verlauf von Hochspannungs-Freileitungen mit anderen Leitungen sind dieselben so zu führen, oder es sind solche Vorkehrungen zu treffen, dass eine Berührung der beiden Arten von Leitungen mit einander erschwert und ungefährlich gemacht wird.

Bei Kreuzungen mit anderen Leitungen sind Schutznetze oder Schutzdrähte zu verwenden, sofern nicht durch Konstruktion des Gestänges auch im Falle eines Drahtbruches die gegenseitige Berührung ausgeschlossen ist.

Wenn Telephon-Leitungen an einem Hochspannungs-Gestänge geführt sind, so müssen die Telephonstationen so eingerichtet sein, dass eine Gefahr für die Sprechenden ausgeschlossen ist.

Wenn Niederspannungsleitungen an einem Hochspannungs-Gestänge geführt werden, so sind Vorrichtungen anzubringen, die bei Bruch der Leitungen oder Isolatoren, eine Berührung der beiden Arten von Leitungen mit einander oder das Auftreten hoher Spannung in den Niederspannungs-Leitungen verhindern. Bezüglich der Sicherung vor-

handener Telephon- und Telegraphenleitungen gegen Hochspannungs-Leitungen wird auf § 12 des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 verwiesen. [1])

§ 18.

Leitungen in und an Gebäuden.

a) Blanke Leitungen sind in Gebäuden nur in feuersicheren Räumen ohne brennbaren Inhalt zulässig.

b) Blanke Leitungen müssen an aufrechtstehenden Isolierglocken befestigt werden, desgleichen isolierte Leitungen, sofern sie nicht in Schutzrohre mit geerdeter Metallumhüllung eingezogen sind (vergl. § 19).

c) Alle Hochspannungs-Leitungen in und an Gebäuden müssen durch geeignete Schutzverkleidung gegen Berührung und Beschädigung gesichert sein. Diese Schutzverkleidung muss, soweit sie der Berührung durch Personen zugänglich ist, aus geerdetem Metall bestehen oder mit einer geerdeten Metallumhüllung versehen sein. An besonders unzugänglichen Stellen, wie z. B. Giebelwänden, kann die Schutzverkleidung durch ein Schutznetz von höchstens 15 *cm* Maschenweite ersetzt werden.

Der Abstand zwischen der Leitung, einerlei, ob sie blank oder isoliert ist, und Gebäudetheilen oder der Schutzverkleidung, darf an keiner Stelle weniger als 10 *cm* betragen. Ausgenommen hiervon sind Wand- und Deckendurchgänge, für welche die nachstehende Vorschrift *d* gilt. Bei eisenarmierten Bleikabeln und metallumhüllten Leitungen kann die Schutzverkleidung wegfallen; dieselben können unter Berücksichtigung der §§ 2, 4, 19 und 22 in oder an Wänden, Decken und Fußböden zugänglich verlegt werden.

d) Wand- und Deckendurchgänge. Bei Wand- und Deckendurchgängen muss entweder unter Einhaltung einer Mindestentfernung von 5 *cm* zwischen Wand und Leitung ein Kanal hergestellt werden, welcher die Durchführung der Leitung auf Isolierglocken gestattet, oder es sind Porzellan oder gleichwertige Isolierrohre zu verwenden, deren Enden mindestens 5 *cm* aus der Wand hervorragen, nach außen und nach feuchten Räumen hin aber als Isolierglocken ausgebildet sein müssen. Für jede Leitung ist, abgesehen von Mehrleiterkabeln, ein besonderes Rohr vorzusehen. Diese Bestimmung findet auf eisenarmierte Bleikabel keine Anwendung.

§ 19.

Schutzrohre.

a) Schutzrohre müssen aus widerstandsfähigem Metall bestehen und eine Wandstärke von mindestens 1 *mm* besitzen.

b) Die Rohre sind so herzurichten, dass die Isolierung der Leitungen durch vorstehende Theile und scharfe Kanten nicht verletzt werden kann. Stoßenden müssen zum Zweck der Erdung (§ 4) elektrisch leitend verbunden sein. Die Rohre sind so zu verlegen, dass sich an keiner Stelle Wasser ansammeln kann.

Die lichte Weite der Rohre, die Zahl und der Radius der Krümmungen müssen so gewählt werden, dass man die Drähte ohne Schwierigkeit einziehen und entfernen kann.

c) Drahtverbindungen dürfen nicht innerhalb der Rohre liegen.

---

[1]) Dieser Paragraph lautet: Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Theiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst, nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beeinflussen.

d) Bei Gleichstrom dürfen Hin- und Rückleitung in dasselbe Rohr verlegt werden; mehr als drei Leiter in demselben Rohr sind nicht zulässig.

Bei Schutzrohren mit eiserner Hülle für Ein- oder Mehrphasenstrom müssen sämmtliche, zu einem Stromkreise gehörigen Leitungen in demselben Rohre verlegt sein.

§ 20.

Querschnitt der Leitungen.

Die höchsten zulässigen Betriebsstromstärken für Leitungen aus Kupfer, welches den Normalien des Verbandes deutscher Elektrotechniker entspricht, sind nach folgender Tabelle zu bemessen:

Leitungsquerschnitt in mm^2	Betriebsstromstärke in Ampère
1·5	6
2·5	10
4	15
6	20
10	30
16	40
25	60
35	80
50	100
70	130
95	160
120	200
150	235
185	275
240	330

Der geringste zulässige Querschnitt von Leitungen ist 1·5 mm^2.

Bei Verwendung von Materialien von geringerer Leitfähigkeit sind die Querschnitte entsprechend zu vergrößern.

§ 21.

Biegsame Mehrfachleitungen
(Bezeichnung *L*).

Biegsame Mehrfachleitungen sind außerhalb bewohnter Gebäude zulässig, wenn die Spannung zwischen den verschiedenen Adern 250 Volt nicht übersteigen kann. Sie dürfen nicht so befestigt werden, dass ihre einzelnen Adern auf einander gepresst werden; metallene Bindedrähte sind zur Befestigung nicht zulässig.

§ 22.

Kabel.

a) Blanke Bleikabel (Bezeichnung *KB*), bestehend aus einer oder mehreren Kupferseelen, starken Isolierschichten und einem nahtlosen einfachen, oder einem mehrfachen Bleimantel, müssen gegen mechanische Beschädigung geschützt sein und dürfen nicht unmittelbar mit Stoffen, welche das Blei angreifen, in Berührung kommen.

b) Asphaltierte Bleikabel (Bezeichnung *KA*) dürfen nur da verlegt werden, wo sie gegen mechanische Beschädigung geschützt sind.

c) Asphaltierte armierte Bleikabel (Bezeichnung *KE*) bedürfen eines besonderen mechanischen Schutzes nicht.

d) Bleikabel jeder Art dürfen nur mit Endverschlüssen, Abzweigmuffen oder gleichwertigen Vorkehrungen, welche das Eindringen von Feuchtigkeit wirksam verhindern und gleichzeitig einen guten elektrischen Anschluss vermitteln, verwendet werden. An den Befestigungsstellen ist darauf zu achten, dass der Bleimantel nicht eingedrückt oder verletzt wird; Rohrhaken sind daher nur bei armierten Kabeln als Befestigungsmittel zulässig.

e) Bei eisenarmierten Kabeln für Ein- oder Mehrphasenstrom müssen sämmtliche zu einem Stromkreise gehörigen Leitungen in demselben Kabel enthalten sein.

f) Wenn vulkanisierte Gummiisolierung verwendet wird, muss der Leiter verzinnt sein.

Lampen in Hochspannungs-Stromkreisen.

§ 23.

Allgemeines.

a) Lampen, die ohne besondere Hilfsmittel zugänglich sind, müssen eine geerdete Schutzumhüllung haben.

b) Lampen müssen zum Zweck der Bedienung durch Schalter, welche den Vorschriften des § 14 *c* entsprechen, ausschaltbar sein.

c) Die Lampenträger müssen entweder gegen Berührung geschützt oder geerdet sein.

d) Zur Montierung von Beleuchtungskörpern ist isolierter Draht (vergl. § 1 *d*) zu verwenden. Wenn der Draht an der Außenseite des Beleuchtungskörpers geführt ist, muss er derart befestigt sein, dass sich seine Lage nicht verändern kann und eine Beschädigung der Isolation durch die Befestigung ausgeschlossen ist.

e) Bei Reihenschaltung der Lampen muss jede Lampe mit einer Vorrichtung versehen sein, welche bei Stromunterbrechung in der Lampe selbstthätig Kurzschluss oder Nebenschluss herstellt.

§ 24.

Glühlampen.

a) In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, dürfen Glühlampen nur mit luftdicht schließenden starken Überglocken aus Glas, welche auch die Fassung einschließen, verwendet werden. Die Schutzglocken dürfen ohne besondere Hilfsmittel nicht erreichbar sein und müssen durch einen geerdeten metallischen Schutzkorb gegen mechanische Beschädigung geschützt sein. Glühlampen, welche mit sonstigen entzündlichen Stoffen in Berührung kommen können, müssen mit Glocken oder geerdeten Drahtgittern versehen sein.

b) Die stromführenden Theile der Fassungen müssen auf feuersicherer Unterlage montiert sein.

§ 25.

Bogenlampen.

a) In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Gasen, Staub oder Fasern vorkommen, dürfen Bogenlampen nicht verwendet werden.

b) Bogenlampen dürfen ohne Vorrichtungen, welche ein Herausfallen glühender Kohlentheilchen verhindern, nicht verwendet werden.

Glocken ohne Aschenteller sind unzulässig.

§ 26.

Überwachung.

Vor Inbetriebsetzung einer Anlage ist durch Isolationsprüfung mit mindestens 100 Volt Spannung festzustellen, ob Isolationsfehler vorhanden sind. Das Gleiche gilt von jeder Erweiterung der Anlage.

Es sind Vorrichtungen vorzusehen, durch welche der Isolationszustand der ganzen Anlage während des Betriebes jederzeit beobachtet werden kann.

Über das Ergebnis der Prüfungen ist Buch zu führen.

Zur dauernden Erhaltung des vorgeschriebenen Zustandes der Gestänge, der Leitungen, der Sicherheitsvorrichtungen und der Erdung mit ihren Kontakten muss eine Überwachung in der Weise stattfinden, dass jährlich mindestens einmal eine eingehende Revision aller Theile und außerdem vierteljährlich mindestens einmal eine Begehung sämmtlicher Freileitungen stattfindet.

Über den Befund ist Buch zu führen.

§ 27.

Schutzmaßregeln beim Betrieb.

Das Arbeiten an Hochspannung führenden Theilen des Leitungsnetzes und der stromverbrauchenden Apparate, sowie die Bedienung der Lampen ist nur nach vorheriger Ausschaltung und einer unmittelbar an der Arbeitsstelle vorgenommenen Erdung und Kurzschließung der stromführenden Theile gestattet. In der Centrale und in Unterstationen (Transformatorenstationen) kann in unabweisbaren Fällen an Hochspannung führenden Theilen gearbeitet werden, doch dürfen derartige Arbeiten nur nach Anordnung und in Gegenwart des Betriebsleiters oder seines Stellvertreters ausgeführt werden.

Ein Einzelner ohne Begleitung darf niemals derartige Arbeiten vornehmen.

In jeder Betriebsstätte sind Vorschriften über die Behandlung von Personen, die durch elektrischen Strom betäubt sind, sichtbar anzubringen.

Die Handhabung von Schaltern sowie das Auswechseln von Sicherungen sind nicht als Arbeiten im Sinne der vorstehenden Bestimmungen zu betrachten.

§ 28.

Zeichnungen.

a) Für Stromerzeugungsstellen und Unterstationen müssen Schaltungs-Schemata und maßstäbliche Schalttafel-Zeichnungen vorhanden sein.

b) Für Fernleitungen und Leitungsnetze müssen Situationspläne mit Angabe der Lage der Unterstationen, Transformatoren, Hausanschlüsse, Streckenausschalter, Sicherungen und Blitzschutz-Vorrichtungen vorhanden sein.

c) Für die Verbrauchsstellen müssen Pläne vorhanden sein, auf welchen ein großer rother Blitzpfeil eingezeichnet und die Spannungen vermerkt sind und welche nachstehende Angaben enthalten:

1. Bezeichnung der Räume nach Lage und Verwendung. Besonders hervorzuheben sind feuchte Räume und solche, in welchen ätzende, oder leicht entzündliche Stoffe und explosible Gase vorkommen.
2. Lage, Querschnitt und Isolierungsart der Leitungen.
3. Art der Verlegung und des Schutzes.
4. Lage der Apparate und Sicherungen.
5. Lage und Stromverbrauch der Transformatoren, Lampen, Elektromotoren u. s. w.

Für diese Pläne sind folgende Bezeichnungen anzuwenden:

= Blitzpfeil.

= Erdung.

= Feste Glühlampe.

= Bewegliche Glühlampe.

5 = Fester Lampenträger mit Lampenzahl (5).

3 = Beweglicher Lampenträger mit Lampenzahl (3).

Obige Zeichen gelten für Glühlampen jeder Kerzenstärke sowie für Fassungen mit und ohne Hahn.

6 = Bogenlampe mit Angabe der Stromstärke (6) in Ampère.

10 = Dynamomaschine, beziehungsweise Elektromotor jeder Stromart mit Angabe der höchsten zulässigen Beanspruchung in Kilowatt.

= Akkumulatoren.

= Wandfassung, Anschlussdose.

= Einpoliger, beziehungsweise zweipoliger, beziehungsweise dreipoliger Ausschalter mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (6) in Ampère.

= Umschalter, desgleichen.

= Sicherung (an der Abzweigstelle).

10 = Widerstand, Heizapparat und dergleichen mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (10) in Ampère.

10 = Desgleichen beweglich angeschlossen.

7.5 = Transformator mit Angabe der Leistung in Kilowatt (7·5).

= Drosselspule.

= Blitzschutzvorrichtung.

= Zweileiter, beziehungsweise Dreileiter oder Drehstromzähler mit Angabe des Messbereichs in Kilowatt (5, beziehungsweise 20).

= Zweileiter-Schalttafel.

= Dreileiter-Schalttafel oder Schalttafel für mehrphasigen Wechselstrom.

= Einzelleitung.

= Hin- und Rückleitung.

= Dreileiter- oder Drehstromleitung.

= Fest verlegte biegsame Mehrfachleitung jeder Art.

= nach oben führende Steigleitung.

= nach unten führende Steigleitung.

B = Blanker Kupferdraht.

B E = Blanker Eisendraht.
G = Leitung mit nahtloser Gummiisolierung.
L = Leitung nach § 21.
K B = Kabel = § 22 *a*,
K A = „ „ § 22 *b*.
K E = „ „ § 22 *c*.
(g) = Verlegung auf Isolierglocken nach § 18.
(o) = Verlegung in Rohren nach § 19.

Das Schaltungsschema soll enthalten:

Querschnitte der Hauptleitungen und Abzweigungen von den Schalttafeln mit Angabe der Belastung in Ampère.

Die Vorschriften dieses Paragraphen gelten auch für alle Abänderungen und Erweiterungen.

Der Plan und das Schaltungsschema sind von dem Besitzer der Anlage aufzubewahren.

§ 29.

Schlussbestimmungen.

Der Verband deutscher Elektrotechniker behält sich vor, diese Vorschriften den Fortschritten und Bedürfnissen der Technik entsprechend abzuändern.

§ 30.

Die vorstehenden Vorschriften sind von der Kommission des Verbandes deutscher Elektrotechniker einstimmig angenommen worden und haben daher in Gemäßheit des Beschlusses der Jahresversammlung des Verbandes vom 3. Juni 1898 als Verbandsvorschriften zu gelten.

Der Vorsitzende der Kommission
Budde.

IV. Entwurf zu den Sicherheitsvorschriften für Starkstromanlagen

nach den Beschlüssen des Regulativcomités des elektrotechnischen Vereines in Wien,[1]) bestehend aus den Herren:

Obmann: Karl Hochenegg, Obmannstellvertreter: C. Schlenk, Schriftführer: Josef Kolbe, Mitglieder: F. Drexler. F. Fischer, G. Frisch, G. Klose, W. T. Melhuish, F. Ross, J. Sahulka, W. Wendelin, W. v. Winkler.

Der vorliegende Entwurf soll die unbedingt erforderlichen Sicherheitsmaßregeln und die bei der Installation von Starkstromanlagen zu beobachtenden Vorsichtsmaßregeln umfassen. Es wurde bei der Bearbeitung der einzelnen Theile der Anlage folgende Eintheilung zu Grunde gelegt.

I. Dynamos und Motoren,
II. Umformer,
III. Akkumulatoren,
IV. Apparate,
V. Messinstrumente,
VI. Widerstände und Heizapparate,
VII. Schalttafeln,
VIII. Blitzschutzvorrichtungen,
IX. Leitungsmaterial,
X. Sicherungen,

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik. Wien, 1899, S. 299.

XI. Freileitungen,
XII. Kabelleitungen,
XIII. Leitungen in Gebäuden,
XIV. Beleuchtungskörper,
XV. Isolation der Anlagen,
XVI. Pläne,
XVII. Schutzmaßregeln beim Betrieb.

Insoweit sich in einzelnen Fällen noch besondere Vorschriften empfehlen, z. B. für Bergwerke, Schiffe, Theater, Bahnen etc., sind solche noch in der Bearbeitung begriffen.

I. Dynamomaschinen und Elektromotoren.

1. Dynamomaschinen und Elektromotoren müssen so aufgestellt und angeordnet sein, dass etwaige Funkenbildung oder ein Glühendwerden der Drähte keine Entzündung von Gasen, Staub oder ähnlichen Stoffen verursachen kann. Jede Dynamomaschine oder jeder Elektromotor muss ein Schild tragen, worauf die Betriebsspannung, die Stromstärke, die Tourenzahl pro Minute und der Name des Fabrikanten ersichtlich gemacht sind.

2. Bei Betriebsspannung über 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom, sowie bei der Aufstellung von Dynamos in Räumen mit feuchten Fußböden gelten folgende Regeln:

a) Dynamos und Elektromotoren mit isolierten Gestellen.

Die Maschinen müssen mit einem isolierenden Bedienungsgange umgeben sein, die Aufstellung muss in solcher Weise erfolgen, dass bei der Bedienung die gleichzeitige Berührung eines stromführenden Theiles und eines nicht isolierten Körpers ausgeschlossen erscheint.

Diese Bestimmung gilt auch für die Erregermaschinen derartiger Dynamos ohne Rücksicht auf die etwa niedrigere Spannung des Erregerstromkreises.

b) Dynamos und Elektromotoren mit geerdetem Gestell.

Die stromführenden Theile müssen, soweit sie im Betriebe zugänglich sind, durch Schutzverkleidungen aus geerdetem Metall oder isolierendem Material gegen Berührung geschützt sein.

II. Umformer.

a) Rotierende Umformer (Motorumformer, Motorgeneratoren). Für die Aufstellung gelten dieselben Vorschriften, wie für die Dynamos.

b) Stationäre Umformer ohne bewegliche Theile (Transformatoren).

Auf jedem Transformator ist die zulässige maximale Stromstärke und Spannung in den primären und sekundären Stromkreisen, sowie der Name des Fabrikanten deutlich kenntlich zu machen.

Wenn in einem primären oder sekundären Kreise die Betriebsspannung 300 Volt übersteigt, so sind die Umformer in versperrten Gehäusen (Schutzkästen), oder in versperrten Räumen unterzubringen, welche nur den mit der Beaufsichtigung betrauten Personen zugänglich sind. In Betriebsräumen (Centralen) können derartige Transformatoren, wenn an normal zugänglichen Orten angebracht, ohne Schutzgehäuse aufgestellt werden. (Messtransformatoren etc.)

Das Gehäuse der Schutzkästen muss aus einem feuerbeständigen Material bestehen (z. B. aus Eisenblech, Mauerwerk oder mit Eisenblech ausgeschlagene Holzkasten).

Bei Transformatoren, welche an Luftleitungen angeschlossen werden, empfiehlt sich eine isolierte Aufstellung, und zwar in Räumen, die dauernd vollkommen trocken sind.

Die Bedienung muss in diesem Falle von einem vorzüglich isolierten Standpunkte aus geschehen.

Wo bei Unterbringung der Transformatoren in Annoncensäulen etc. kein dauernd isolierter Standpunkt für die Bedienung geschaffen werden kann (mangels Platz), sind die Bestimmungen XVI, II. *B* streng zu beobachten.

Bei Transformatoren, die an unterirdische Leitungen angeschlossen sind, ist es in allen jenen Fällen, wo nicht durch die Konstruktion des Transformators der Übertritt der hohen Spannung zum Gestell unter allen Umständen ausgeschlossen ist, wünschenswert, das Gestell dauernd zu erden.

In Transformatoren-Unterstationen, wo eine ständige Bedienung erforderlich ist, dürfen die zu bedienenden Apparate und Sicherungen nur von einem isolierenden Bedienungsgang aus zugänglich sein.

Die Isolierung zwischen den primären und sekundären Wicklungen und zwischen den Wicklungen und dem Eisenkerne muss eine derartige sein, dass sie im Stande ist, bei einer Betriebsspannung unter 3000 Volt die doppelte, bei höherer Spannung die $1^1/_2$fache Betriebsspannung eine Stunde lang auszuhalten.

Zur Isolierung der Stromkreise, in denen die Betriebsspannung 300 Volt übersteigt, darf ein hygroskopisches Material nicht verwendet werden, die Temperatur der stromführenden Theile des Transformators darf 70° C. nicht übersteigen.

Eine Ausnahme hiervon ist nur dann zulässig, wenn der Nachweis erbracht wird, dass die angewendeten Isolationsmaterialien die etwa auftretende höhere Temperatur ohne Schädigung ihrer isolierenden Eigenschaften vertragen.

Alle Transformatoren sind primär in allen Stromkreisen unmittelbar vor dem Transformator zu sichern.

Bei Einzel-Transformatoren können sekundäre Sicherungen entfallen; bei sekundär parallel geschalteten Transformatoren für Beleuchtungszwecke sind stets sekundäre Sicherungen erforderlich.

Bei elektrochemischen und elektrometallurgischen Anlagen können auch bei parallel geschalteten Transformatoren die sekundären Sicherungen entfallen, doch muss in allen Fällen dafür gesorgt sein, dass eine Beanspruchung der hinter den Transformatoren liegenden Leitungen über die nach IX. 3. zulässige Grenze ausgeschlossen erscheint.

III. Bestimmungen für Akkumulatoren.

I.

1. Stationäre Akkumulatoren sollen in abgeschlossenen Räumen untergebracht werden, welche nur für das Bedienungspersonale leicht zugänglich sind.

2. Diese Räume müssen gegen Verunreinigung durch Staub, Schmutz oder schädliche Gase (Chlor, Salpetersäure, Ammoniak, Alkohol etc.) gesichert sein und eine ausreichende Ventilation besitzen.

3. Die Bedienungsgänge sollen nicht unter 2 *m* Höhe und 0·6 *m* Breite besitzen.

4. Der Fußboden von Akkumulatorenräumen ist gegen das Auslaufen von Säure durch einen entsprechenden Belag (Asphalt) zu schützen, der auch an den Umfassungsmauern sorgfältig abgedichtet sein muss.

Gypsverputz oberhalb der Akkumulatoren ist mit einem Anstrich von säurebeständiger Farbe zu versehen.

II.

1. Behälter für transportable Akkumulatoren wie unter I. 2.

2. In solchen Behältern dürfen leicht lösbare Leitungsverbindungen, ferner Bleisicherungen, Ausschalter etc., welche beim Öffnen Funkenbildungen verursachen könnten, nicht untergebracht werden.

3. Leicht entflammbare Stoffe, wie Celluloid etc. dürfen bei Batterien für Fahrzeuge keine Verwendung finden.

III.

1. Die einzelnen Zellen sind von ihren Unterlagen durch Glas, Porzellan oder gleichwertige Stoffe zu isolieren.

2. Bei Batterien über 250 Volt Betriebsspannung sind auch die Unterlagen gegen Erde wie vorstehend zu isolieren.

3. Zellen, zwischen welchen Spannungsdifferenzen über 300 Volt bestehen können, müssen so aufgestellt werden, dass eine gleichzeitige Berührung derselben durch eine Person ausgeschlossen ist.

4. Bei Batterien für Spannungen über 300 Volt, welche einpolig an Erde liegen (Pufferbatterien, Lichtbatterien mit geerdetem Nullleiter etc.), sind isolierte Bedienungsgänge anzuwenden. Bei Betriebsspannungen über 700 Volt soll das Bedienungspersonale die Räume nur mit Gummischuhen betreten.

5. Die Bestimmungen sub 3 und 4 gelten auch für Niederspannungsbatterien, welche zur Erregung von Hochspannungsmaschinen dienen, wenn die Gestelle der zugehörigen Maschinen nicht geerdet sind.

IV. Apparate.

a) Alle Apparate müssen in den stromführenden Querschnitten und Kontaktflächen den stärksten vorkommenden Betriebstrom dauernd ohne übermäßige Erwärmung vertragen.

Die Erhitzung erscheint übermäßig, wenn darauf gebrachtes Paraffin schmilzt. In Betriebsräumen (Centralen) ist eine Erwärmung bis 70° C. zulässig.

b) Auf allen Apparaten soll unverkennbar und unverwischbar die zulässige Betriebsstromstärke und Betriebsspannung angegeben sein.

c) Alle Kontaktflächen und Kabelschuhe an Apparaten sollen den Normen der Anlage I entsprechen.

d) Alle Apparate müssen derart gebaut sein, dass die Bildung eines dauernden Lichtbogens verhindert wird.

e) Bei Verwendung von Quecksilber muss dafür gesorgt werden, dass ein Umherschleudern von Quecksilbertropfen und ein Entweichen von Quecksilberdämpfen in schädlichem Maße vermieden wird. Die Oberfläche des Quecksilbers soll behufs Reinhaltung zugänglich gemacht werden, sofern nicht die Konstruktion des Apparates eine Reinigung überflüssig macht.

f) Sämmtliche stromführende Theile müssen auf feuersicherer, gut isolierter Unterlage montiert und von Schutzkasten derart umgeben sein, dass sie sowohl vor Berührung durch Unbefugte geschützt, als auch von brennbaren Gegenständen feuersicher getrennt sind. In feuchten Räumen genügt Marmor als Isolation nicht. Bei Einführung von Leitungen in Apparate müssen die in XIII vorgeschriebenen Abstände von der Wand eingehalten werden.

g) Alle geschlossenen Aus- und Umschalter für Stromstärken bis 25 Ampère müssen so konstruiert sein, dass ein Stehenbleiben des Schalthebels in den Stellungen zwischen „auf“ und „zu“ ausgeschlossen ist.

Von dieser Bestimmung ausgenommen sind Schalter und Schalttafeln in Betriebsräumen. Alle Schalter sollen sich soweit öffnen, dass kein Lichtbogen stehen bleiben kann.

Sie sollen nicht von selbst oder durch einen zufälligen Anstoß zufallen können.

Die metallenen Kontaktflächen der Ausschalter sollen sich beim Öffnen und Schließen an einander rein reiben.

Bei Schaltern für größere Stromstärken an Schalttafeln sollen die Kontaktflächen, ohne von den stromführenden Theilen getrennt zu werden, leicht gereinigt werden können.

Selbstthätige Starkstromausschalter sollen so eingerichtet sein, dass der Öffnungsfunke nicht an den bei geschlossenen Ausschaltern stromführenden Kontaktflächen auftritt.

Eine Ausnahme gilt für Quecksilberausschalter, doch muss dem Absatz IV *e* entsprochen sein. Zu den Kontaktflächen parallel geschaltete Kohlenkontakte, welche sich erst nach Öffnen des Hauptkontaktes trennen oder zu den Kontaktflächen parallel geschaltete Abschmelzstreifen etc. entsprechen der Vorschrift. In Räumen, wo betriebsmäßig leicht entzündbare oder explosive Stoffe vorkommen, ist die Anwendung von Ausschaltern oder Umschaltern nur unter verlässlichem Sicherheitsabschluss zulässig.

h) Ausschalter für Nullleiter müssen so konstruiert sein, dass solche nur gleichzeitig mit den Außenleitern geöffnet werden können.

i) Alle Apparate müssen derart konstruiert sein, dass eine Verletzung von Personen durch Splitter, Funken oder geschmolzene Materialien ausgeschlossen ist.

k) Bei Apparaten in Betriebsräumen kann bei Betriebsspannung bis zu 600 Volt Gleichstrom und 300 Volt Wechselstrom die sub *f* verlangte Schutzhülle entfallen. Bei höheren Spannungen dürfen nicht geschützte stromführende Theile nur in separaten, versperrbaren, bei normaler Bedienung nicht zu betretenden Räumen vorkommen.

Die Schutzhülle kann ferner entfallen bei Apparaten in Freileitungen, welche in einer Höhe von nicht unter 5 *m* vom Fußboden angebracht sind.

l) Isolierende Verbindungsstücke für kombinierte Gasbeleuchtungskörper, siehe XIV, müssen aus einem Material hergestellt sein, welcher sich unter dem Einfluss der Hitze der Gasflammen nicht ändert. Sie müssen so eingerichtet sein, dass ein Niederschlag von Feuchtigkeit die Isolation nicht beeinträchtigt und müssen einen Isolationswiderstand von mindestens 250.000 Ohm per Stück haben.

Weicher Gummi darf für die Isolation in derartigen Stücken nicht verwendet werden.

V. Messinstrumente.

Auf alle in Stromanlagen verwendeten Messapparate finden sinngemäß die Bestimmungen des Absatzes IV (Apparate) Anwendung. An den Schaltbrettern der Stromerzeugungs-Apparate muss mindestens durch Anbringung eines Ampère- und Voltmeters eine Kontrolle des erzeugten Stromes möglich sein. Bei Stromerzeugungs-Anlagen von über 10 *K W* Leistung muss das Voltmeter in der Nähe der normalen Betriebsspannung eine Genauigkeit von mindestens $\pm$ 2% aufweisen.

Die Leitungen von über 500 *m* Länge für eine Gesammtleistung von über 10 *K W* oder Betriebsspannungen über 200 Volt ist ein Erdschlussanzeiger vorzusehen.

Diese Bestimmung gilt nicht für Hausanschlüsse von Centralen.

VI. Widerstände und Heizapparate.

Widerstände und Heizapparate, bei welchen eine Erwärmung um mehr als 50° *C* eintreten kann, sind derart anzuordnen und aufzustellen, dass eine unbeabsichtigte Berührung zwischen den wärmeentwickelnden Theilen und entzündlichen Materialien, sowie eine feuergefährliche Erwärmung solcher Materialien nicht vorkommen kann.

Widerstände sind auf feuersicherem, gut isolierendem Material zu montieren und mit einer Schutzhülle aus feuersicherem Material zu umkleiden.

Widerstände dürfen nur auf feuersicherer Unterlage und zwar freistehend an feuersicheren Wänden angebracht werden.

In Räumen, in denen betriebsmäßig explosible Gemische von Staub, Fasern oder Gasen vorhanden sind, dürfen Widerstände und Heizapparate nur dann aufgestellt werden,

wenn solche derart feuersicher verschlossen und mit solchen Abkühlungsflächen versehen sind, dass eine Entzündung ausgeschlossen ist.

VII. Schalttafeln.

a) Die die Schaltapparate tragenden Flächen der Schalttafeln sollen aus isolierenden und feuersicheren Stoffen (Marmor und dergleichen) hergestellt werden. In feuchten Räumen kann Marmor nicht als isolierend angesehen werden.

b) Die Verwendung von Schalttafeln aus nicht feuersicheren Stoffen ist ausnahmsweise bei provisorischen Anlagen und ferner bei Vertheilungs-Schaltbrettern zulässig, bei Letzteren jedoch nur, wenn die Betriebsspannung 500 Volt nicht übersteigt.

c) In den sub *b*) angeführten Fällen müssen alle auf den Schalttafeln befestigten Apparate feuersichere und isolierende Grundplatten von entsprechender Stärke und Breite haben, Leitungen an derartigen Tafeln müssen auf feuersicherer Unterlage so geführt sein, dass eine Feuersgefahr vollkommen ausgeschlossen erscheint.

d) Die Anbringung der Apparate und Leitungen auf der Schalttafel muss derart erfolgen, dass ein stehenbleibender Lichtbogen sich nicht bilden kann.

e) Alle Theile der Schalttafel, auf denen gelöthete oder geschraubte Verbindungen zwischen Leitungen oder Apparaten angebracht sind, sowie die zu bedienenden Apparate müssen gut zugänglich sein.

f) Bei Betriebsspannungen über 600 Volt Gleichstrom oder 300 Volt Wechselstrom muss überall dort, wo eine Bedienung des Schaltbrettes erforderlich werden kann und insoweit dort Apparate oder Leitungstheile mit der angeführten Spannung vorkommen, ein nach außen hin abgegrenzter und gegen Erde gut isolierter Bedienungsgang von wenigstens 1 *m* lichter Weite vorgesehen werden.

Eine metallene geerdete Abgrenzung des Bedienungsraumes darf nur dann verwendet werden, wenn eine gleichzeitige Berührung derselben, sowie stromführende Theile des Schaltbrettes ausgeschlossen sind.

g) Leitungen an Schaltbrettern, welche Betriebsspannungen von über 600 Volt Gleichstrom oder 300 Volt Wechselstrom führen, müssen, auch wenn sie umhüllt sind, durch einen auffallenden rothen Anstrich kenntlich gemacht werden. In der Bedienungshöhe sind derartige Leitungen stets isolierend zu umhüllen.

Auf der abgesperrten Rückseite der Schaltbretter sind, abgesehen von armierten Kabeln, am besten nur blanke Leitungen zu verwenden.

h) Alle betriebsmäßig zu bedienenden Apparate bei Spannungen, welche sub *g* fallen, müssen vorzüglich und dauernd verlässlich isolierte Handhaben erhalten.

VIII. Blitzschutzvorrichtungen.

Wenn Freileitungen ihrer ganzen Länge nach nicht an Objekten verlaufen, welche einen wirksamen Schutz gegen Blitzgefahr bilden, so sind selbe auf jedem Pol mit Blitzschutzvorrichtungen zu versehen.

Derartige Blitzschutzvorrichtungen sind anzubringen:

a) Bei Freileitungen, welche keine Abzweigungen haben, am Anfang und Ende der Leitung.

b) Beim Übergang von Freileitungen zu unterirdischen Kabeln.

c) Bei localen Netzen an der Stromeinführungsstelle und im Netz nach Bedarf, wobei als Schutzrayon einer Blitzschutzvorrichtung ein Kreis von 1000 *m* Radius gilt.

Blitzsaugspitzen sind auf den Leitungsstangen nur dann anzubringen, wenn in einer Gegend eine besondere Blitzgefahr vorliegt.

Die Bauart der Blitzschutzvorrichtungen muss ein Stehenbleiben des Lichtbogens verhindern. Selbe müssen auf nicht brennbarem Sockel montiert sein.

Führen Leitungen von verschiedenen Polen zu einer Erdplatte, so sind zwischen diesen und der Erdplatte Kohlenwiderstände einzuschalten. Die Verbindung der Freileitungsenden mit der Blitzschutzvorrichtung ist in möglichst gerader Llnie oder wenigstens unter Vermeidung scharfer Biegungen herzustellen. Von der Blitzschutzvorrichtung soll die Leitung in die zu schützende Maschine oder den Apparat zurückgeführt und, wo nicht der zu große Leitungsquerschnitt dies verhindert, zu einigen Selbstinduktionswindungen ausgestattet werden. Die Erdleitungen sind unter Vermeidung von scharfen Krümmungen ohne Umwege zur Erde zu führen und dürfen nirgends scharf abgebogen sein. Bei Führung der Erdleitungen durch Eisenrohre sind diese mit der Leitung leitend zu verbinden. Auf Herstellung einer guten Erdung ist eine besondere Sorgfalt zu verwenden. Eine Verbindung der Erdleitung mit Gasleitungsrohren innerhalb der Gebäude ist nicht gestattet.

Bei Spannungen über 500 Volt sollen die Erdleitungen bis zu einer Höhe von 3 *m* über dem Fußboden mit einer isolierenden Verkleidung versehen sein.

An exponierten Punkten, wo Diebstahlsgefahr obwaltet, sind Eisenbandleitungen der Verwendung von Kupfer für die Erdleitung vorzuziehen.

Die Blitzschutzvorrichtungen sollen, da eine häufige Prüfung derselben erforderlich, an leicht erreichbaren Stellen angebracht werden. Bei den Erdleitungen ist für Kupfer ein Minimalquerschnitt von 30 mm^2, bei Eisen ein solcher von 60 mm^2 vorgeschrieben.

IX. Leitungen.

a) Querschnitt der Leitungen.

1. Das Leitungskupfer soll ein solches Leitungsvermögen besitzen, dass 1000 *m* eines Drahtes von 1 mm^2 Querschnitt bei 15° C. einen Widerstand von nicht mehr als 17·5 Ohm aufweisen.

2. Der geringste zulässige Querschnitt für Leitungen (ausgenommen an und in Beleuchtungskörpern) ist 1·5 mm^2, an und in Beleuchtungskörpern 0·75 mm^2.

3. Der Querschnitt der Leitungen ist so zu bemessen, dass durch den stärksten auftretenden Strom eine feuergefährliche oder die Isolation gefährdende Erwärmung derselben nicht bewirkt werden kann. Die der Berechnung zu Grunde zu legende normale Betriebsstromstärke für Drähte und Kabel aus Leitungskupfer ist aus der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Für außergewöhnliche Fälle und bei Erweiterungen kann diese normale Betriebsstromstärke überschritten und für Dauerbeanspruchung das $1^1/_2$ fache derselben, die sogenannte feuersichere Stromstärke zugelassen werden.

Bei Elektromotoren, Bogenlampen u. dgl., bei deren Einschaltung vorübergehend eine höhere als die gewöhnliche Betriebsstromstärke auftritt, sind die Leitungen für diese höhere Stromstärke zu bemessen.

Bei Verwendung von Leitungsmaterialien von geringerer Leitungsfähigkeit als Leitungskupfer sind die Querschnitte entsprechend zu vergrößern.

Leitungsquerschnitt in mm^2	Normale Betriebsstromstärke in Amp. (gewöhnlich der Rechnung zu Grunde zu legen)	Zulässige feuersichere Stromstärke in Ampère (außergewöhnlich und bei Erweiterungen zulässig)
0·75	3	4·5
1·5	6	9
2·5	10	15
4	15	22
6	20	30
10	30	45
16	40	60
25	60	90
35	80	120
50	100	150
70	130	200
95	165	250
120	200	300
150	235	350
185	275	410
240	330	500

b) Normal-Isolations-Typen.

1. Isolation *U*, bestehend aus zwei einzelnen, auf den Leiter gelegten und mit einer geeigneten Masse getränkten faserigen Umhüllung.

2. Isolation *J*, bestehend aus mindestens einer, über den verzinnten Kupferleiter angebrachten geschlossenen Paragummibandumwickelung, welche zwischen zwei Baumwoll-Lagen gebettet ist, darüber eine mit einer geeigneten Masse getränkte Umflechtung.

3. *a)* Isolation *G*, bestehend aus einer vollkommen homogenen, Kautschuk enthaltenden, wasserdichten Hülle von mindestens 1 *mm* Wandstärke, welche in geeigneter Weise durch Bandbewickelung, Umflechtung, Bleimantel etc. nach außen abgeschlossen ist. Für Type *G* ist ein minimaler Isolationswiderstand von 500 Megohm per Kilometer bei 15° C. und 100 Volt Messspannung nach 24stündigem Wasserbade zu garantieren.

b) Isolation *G H*, bestehend aus einer vollkommen homogenen, Kautschuk enthaltenden wasserdichten Hülle, bestehend aus mindestens 3 Schichten, mit einer Wandstärke von zusammen mindestens 1·5 *mm*, welche in geeigneter Weise, durch Bandwickelung, Umflechtung, Bleimantel etc. nach außen abgeschlossen ist. Für Type *G H*, ist ein minimaler Isolationswiderstand von 1000 Megohm per Kilometer bei 15° C. und 100 Volt Messspannung nach 24stündigem Wasserbade zu garantieren. Derartige Leitungen sind bei Verwendung für Spannungen über 600 Volt einer Spannungsprobe wie Kabel (siehe XIII *c)* zu unterziehen.

Isolation L. Mehrfache Leitungsschnüre von 1 bis incl. 4 mm^2 in den 3 Ausführungen „rund" *Lr*, „zusammengedreht" *Lz*, „flach" *Lf*, mit Eisengarn oder Seide umflochten. Die Isolation soll aus einer, zwischen 2 Baumwolllagen gebetteten Paragummibandumwickelung, oder aus einer anderen, auf die Dauer gegen das Durchschlagen in trockenen Räumen sicher schützenden Hülle bestehen.

Die Kupferleiter sollen aus Feindrähten unter 0·5 *mm* Durchmesser gebildet sein, jedoch ist für festmontierte Mehrfachleitungen auch ein massiver Kupferleiter zulässig. Die Mehrfachleitungen sollen in trockenen Räumen eine Spannung von 750 Volt, Leiter gegen Leiter, aushalten.

Bleikabel *a)* blank Bezeichnung *K B*,
b) asphaltiert, „ *K A*,
c) gepanzert, „ *K E*.

Dieselben erhalten eine Isolationsschicht von mindestens 1 *mm* Wandstärke und sind mit einem ein- oder mehrfachen nahtlosen Bleimantel umgeben. Alle Bleikabel sind nach mindestens 24stündigem Wasserbade zu prüfen, und ist für dieselben ein minimaler Isolationswiderstand von 1000 Megohm per Kilometer bei 15° C. und 100 Volt Messspannung zu garantieren. Blanke Bleikabel dürfen nur von 6 mm^2 Kupferquerschnitt aufwärts verwendet werden.

X. Sicherungen.

a) Alle Leitungen, ausgenommen in den Fällen *b* und *c*, sind durch Abschmelzsicherungen oder andere selbstthätige Stromunterbrecher gegen schädliche Erwärmung zu schützen. Es ist unzulässig eine Hin- und Rückleitung durch eine einzige Sicherung zu schützen.

b) Geerdete, neutrale oder Null-Leitungen bei Mehrleiter- oder Mehrphasensystemen, ferner betriebsmäßig geerdete Leitungen (z. B. Erdrückleitungen bei Straßenbahnen) dürfen keine Sicherungen erhalten.

c) Verbindungsleitungen zwischen Dynamos und Schaltbrettern in Betriebsräumen Zellenschalterleitungen bei Akkumulatoren, Verbindungsleitungen zwischen den Stromerzeugern und elektrolytischen Apparaten oder elektrischen Schmelzöfen können ungesichert bleiben, wenn I. entweder die ganze Art der Führung derartiger Leitungen eine Feuersgefahr infolge Erwärmung vollkommen ausschließt, oder II. die zur Verfügung stehende Stromquelle überhaupt keine Ströme von solcher Stärke liefern kann, dass sie die in „*d*“ für den betreffenden Leitungsquerschnitt als zulässig bezeichnete Abschmelzstromstärke überschritten wird.

d) Die Sicherung ist nach den Querschnitt des dünnsten von ihr gesicherten Drahtes zu bemessen, so dass die aus nachstehender Tabelle ersichtliche Stromstärke als sogenannte Abschmelzstromstärke überschritten werden kann.

Leitungsquerschnitt in mm^2	Normale Betriebsstromstärke in Amp. (gewöhnlich der Rechnung zu Grunde zu legen)	Zulässige feuersichere Stromstärke in Ampère (außergewöhnlich und bei Erweiterungen zulässig)	Unüberschreitbare Abschmelzstromstärke in Ampère (Grenze d. Belastung, bei welcher die Sicherungen unterbrechen sollen)
0·75	3	4·5	6
1·5	6	9	12
2·5	10	15	20
4	15	22	30
6	20	30	40
10	30	45	60
16	40	60	80
25	60	90	120
35	80	120	160
50	100	150	200
70	130	200	260
95	165	250	330
120	200	300	400
150	235	350	470
185	275	410	550
240	330	500	660

Es ist zulässig, die Sicherungen für eine Leitung schwächer zu wählen, als in dieser Tabelle angegeben. Bei Anlagen nach dem Dreileitersystem sind die Sicherungen in allen Leitern gleich stark auszuführen, so dass bei auftretenden Überlastungen stets die Außenleitersicherung zuerst unterbricht.

e) Die Anbringung der Sicherungen an Stellen, wo sich der Querschnitt der Leitungen vermindert, hat in einer Entfernung von höchstens 25 *cm* von der Abzweigstelle zu erfolgen. Das Anschlussleitungsstück zwischen Hauptleitung und Sicherung kann von geringerem Querschnitt sein, wie die Hauptleitung, muss aber mindestens denselben Querschnitt aufweisen, wie die gesicherte Leitung, und ist von entzündlichen Gegenständen feuersicher zu trennen und derart zu befestigen, dass Kurz- und Erdschlüsse auf der Strecke zwischen Sicherung und Abzweigstelle nicht eintreten können.

Ist die Anbringung der Sicherung in einer Entfernung von höchstens 25 *cm* von der Abzweigstelle nicht angängig, so muss die von der Abzweigstelle nach der Sicherung führende Leitung den gleichen Querschnitt, wie die durchgehende Hauptleitung erhalten.

f) Mehrere Vertheilungsleitungen können eine gemeinsame Sicherung von höchstens 6 Ampère Normalstromstärke erhalten, Querschnittverminderungen oder Abzweigungen jenseits dieser Sicherung brauchen in diesem Falle nicht weiter gesichert zu werden.

g) Die Sicherungen müssen derart eingerichtet sein, dass die im Betrieb vorkommende Handhabung auch unter Spannung gefahrlos erfolgen kann, und dass bei deren selbstthätiger Stromunterbrechung auch bei Kurzschluss hinter der Sicherung der Unterbrechungsfunke nicht zum dauernden Lichtbogen werden kann. Bei Sicherungen dürfen die Abschmelzverbindungen, wenn selbe aus weichen plastischen Metallen und Legierungen bestehen, nicht unmittelbar den Kontakt vermitteln, sondern es müssen dieselben in Kontaktstücke aus Kupfer oder gleich geeigneten Metallen enden und mit diesen entsprechend verlöthet sein.

h) Die Maximalspannung ist auf dem festen Theil, der gesicherte Kupferleitungsquerschnitt und die Betriebsstromstärke sind auf dem auswechselbaren Stück der Sicherungen zu verzeichnen.

i) Bei Sicherungen bis 6 mm^2 Kupferleitungsquerschnitt (40 Ampère Abschmelzstromstärke), welche dem Publikum zugänglich sein sollen, muss durch deren Einrichtung eine irrthümliche Verwendung zu starken Abschmelzsicherungen ausgeschlossen sein.

k) Innerhalb von Räumen, wo betriebsmäßig leicht entzündliche oder explosible Stoffe vorkommen, dürfen Sicherungen nicht angebracht werden.

Sicherungen sind möglichst zu vereinen und derart anzubringen, dass sie leicht und gefahrlos gehandhabt werden können.

l) Bewegliche Leitungsschnüre zum Anschluss von transportablen Beleuchtungskörpern sind stets an der Abzweigstelle separat auf allen Polen zu sichern.

XI. Freileitungen.

1. Leitungen, welche im Freien geführt sind (mit Ausnahme von Kabeln), müssen, auch wenn mit einer Isolationsschicht versehen, mit Rücksicht auf die geringe Wetterbeständigkeit aller Isolationsmaterialien, als an sich nicht isoliert angesehen und dementsprechend verlegt werden.

2. Alle Freileitungen sind auf aufrecht stehenden Isolierglocken zu verlegen und so zu führen, dass eine zufällige Berührung durch Unbetheiligte ausgeschlossen erscheint.

3. Eine Führung der Leitungen in einem Abstande von 5 *m* vom Fußboden auf der freien Strecke und von 6·5 *m* bei Straßenkreuzungen genügt für alle vorkommenden Betriebsspannungen. Bei Betriebsspannungen, welche unter 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom liegen, ist eine Führung der Leitung auch in geringer Höhe zulässig, wenn durch die Art der Führung der Leitung eine Feuersgefahr durch Ableitung oder Funkenbildung ausgeschlossen erscheint. Derartige Leitungen müssen mindestens 3 *m* über Fußbodenhöhe geführt werden.

4. Leitungen, welche in geringeren Abständen von der Erde, wie in 3 specificiert ist, verlegt werden, sind der ganzen Länge nach durch geerdete Schutznetze zu schützen. Die Maschenweite dieser Schutznetze ist so zu bemessen, dass eine Berührung von Körpertheilen und Leitung ausgeschlossen erscheint.

5. In allen Fällen, wo die Betriebsspannung 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom übersteigt, ist durch Aufschriften, in den landesüblichen Sprachen an mindestens jedem dritten Stützpunkt auf die Gefährlichkeit der Berührung der Leitungen aufmerksam zu machen.

6. Freileitungen aus Kupfer müssen einen minimalen Querschnitt von 10 *mm* erhalten. Bei Verwendung von Materialien mit größerer Bruchfestigkeit, z. B. Siliciumbronze, ist eine Reduktion des Querschnittes zulässig, doch müssen derartige Drähte mindestens 200 *kg* Zugbelastung bis zum Eintritt des Bruches aushalten.

Bei Betriebsspannungen über 1000 Volt erhöht sich der minimale Querschnitt für Kupferleitungen auf 20 *mm*, die Bruchfestigkeit auf 400 *kg*.

In geschlossenen Fabrikshöfen und für Betriebsspannungen unter 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom ist ein Minimalkupferquerschnitt von 6 *mm* und bei anderen Materialien ein Querschnitt, welcher 120 *kg* Zugsbelastung verträgt, zulässig.

7. Da, wo Freileitungen häufig befahrene Straßen kreuzen und bei Betriebsspannungen von über 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom ist dafür Sorge zu tragen, dass bei einem Drahtbruch die Leitung vor Berührung der Erde spannungslos gemacht wird. Hierzu können geerdete Schutznetze, Schutzgitter oder geerdete Bügel verwendet werden; letztere müssen in der Nähe des Isolators den Draht so umfassen, dass bei einem Bruch der Leitung der Draht stets gleich den Bügel berührt. Bezüglich Führung der Arbeitsleitungen elektrischer Bahnen gelten die einschlägigen besonderen Bestimmungen.

8. Bei Führung von Leitungen bei Betriebsspannungen über 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom durch Ortschaften oder vor einzelnen Gebäuden ist stets dafür Sorge zu tragen, dass die Berührung der Leitungen durch Unbetheiligte ohne besondere Hilfsmittel ausgeschlossen erscheint.

Ob in solchen Fällen zur Beseitigung der bei einem Drahtbruch entstehenden Gefahr streckenweise die Anbringung von Schutznetzen oder Bügeln erforderlich wird, ist fallweise zu entscheiden.

9. Freileitungen in Ortschaften müssen dort, wo solche eventuell die Arbeiten der Feuerwehr stören könnten, während des Betriebes ausschaltbar sein, die dazu dienenden Ausschalter müssen der Polizei und der Ortsfeuerwehr zugänglich sein. Bei Betriebsspannungen unter 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom sind bei verzweigten Netzen die Leitungen vor und hinter der gefährdeten Stelle durch geeignete Instrumente abzuschneiden.

10. Die Gestänge müssen, wenn aus Holz, eine zehnfache Sicherheit, wenn aus Eisen, eine fünffache Sicherheit gegen Bruch bieten, bei der Berechnung ist ein maximaler Winddruck von 150 *kg* per Quadratmeter senkrecht getroffener Fläche zu Grunde zu legen.

Die Leitung selbst muss bei einer Temperatur von — 25° C. noch eine fünffache Sicherheit gegen Bruch bieten.

Drähte und Seile müssen zunächst eine Spleißung erhalten, welche auch ohne Verlöthen den vorkommenden Zug aushält, dann ist eine sorgfältige Verlöthung vorzunehmen, wobei Löthmittel, welche das Metell angreifen, nicht verwendet werden dürfen.

Alle Abzweigungen von Freileitungen sind von Zug zu entlasten. Bei Betriebsspannungen über 600 Volt sind die Isolierglocken vom Fabrikanten vor der Anbringung mit der doppelten Betriebsspannung, mindestens aber mit einer Überspannung von 3000 Volt über die Betriebsspannung zu prüfen.

11. Die Leitungen sind auf dem Gestänge derart zu befestigen, dass eine Berührung von Leitungen, zwischen denen Spannungsdifferenzen bestehen, untereinander oder mit Baulichkeiten irgend welcher Art, ausgenommen bei Drahtbruch, ausgeschlossen erscheint. Es sind folgende Minimalabstände der Leitungen einzuhalten:

a) Bei Führung der Leitungen nebeneinander soll der Abstand von Mitte zu Mitte für Betriebsspannungen bis

10.000 Volt:	100 *mm*	$+ {}^1/_{200}$ des Abstandes der Stützpunkte
10—20.000 „	150 „	$+ {}^1/_{200}$ „ „ „ „
über 20.000 „	200 „	$+ {}^1/_{200}$ „ „ „ „

der Minimalabstand bis 10.000 Volt mindestens 150 *mm* betragen.

b) Bei Führung der Leitungen übereinander ist ein Abstand von Mitte zu Mitte von ${}^1/_{200}$ des Abstandes der Stützpunkte, mindestens aber von 150 *mm* einzuhalten.

12. Wenn Telephonleitungen an einem Starkstromgestänge geführt werden, so müssen die Telephonstationen so eingerichtet sein, dass eine Gefahr für den Sprechenden ausgeschlossen erscheint. Vor den Stationen sind Sicherungen einzuschalten. Die Telephonleitungen sind stets unter den Starkstromleitungen zu führen. Wenn Leitungen Betriebsspannungen über 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom führen und an demselben Gestänge Leitungen mit Betriebsspannungen unter diesen Ziffern geführt werden sollen, so sind diese letzteren Leitungen gegen den Übertritt der höheren Spannung zu schützen. Wenn derartige Niederspannungsleitungen nicht ganz getrennt von den, hohe Spannungen führenden Leitungen auf einer Seite des Gestänges geführt werden, so sind solche stets unter den Hochspannungsleitungen zu führen.

13. Alle Einführungen von Freileitungen in Gebäude (ausgenommen durch Kabel) haben derart zu erfolgen, dass kein Tropfwasser in die Einführung gelangen kann. Die Einführungsröhre selbst ist aus einem gut isolierenden nicht hygroskopischen Material herzustellen und mit einer Neigung gegen die Außenwand hin anzubringen.

Bei Betriebsspannungen über 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom kann entweder ein Draht von der Isolation *G*, respektive *G H* in einer Porzellan- oder Hartgummiröhre verwendet, oder die Leitungen auf Isolierglocken durch die Mauer geführt werden. In letzterem Falle sind zwischen Glocke oder Leitung und Mauerwerk die gleichen Abstände, wie in 11 gefordert, einzuhalten.

XII. Kabel für unterirdische Verlegung.

a) Als solche gelten isolierte Leitungen, die mit einer metallischen Panzerung, Blei, Eisen etc. umgeben sind.

Bei solchen Kabeln muss die Isolation der einzelnen Kupferseelen, sowohl gegeneinander wie nach außen (gegen Bleimantel oder gegen Erde), eine der höchsten vorkommenden Betriebsspannung entsprechende sein.

Sie muss im unverlegten Zustand der Kabel einen Minimalwert von 1000 Megohm, per Kilometer gemessen, mit einer Spannung von wenigstens 100 Volt und bei 15° C. nach 24stündigem Liegen unter Wasser ergeben.

b) Bei Anwendung von koncentrischen Kabeln ist der Isolierung eines inneren Leiters gegen die übrigen Leiter, sowie gegen Erde eine ganz besondere Sorgfalt zuzuwenden, dagegen genügt für die Isolation des Außenleiters die Hälfte des obigen Wertes.

c) Kabel für Betriebsspannungen über 600 Volt müssen vor der Verlegung einer Spannungsprobe unterworfen werden; sie müssen imstande sein, eine Spannung, welche die Betriebsspannung um 50%, wenigstens aber um 2000 Volt übersteigt, durch mindesten 15 Minuten auszuhalten.

d) Die Kabel müssen gegen mechanische Beschädigung, sowie gegen die Zerstörung der Isolation durch Wasser oder chemische Einflüsse geschützt sein. Holzrinnen, Eisenröhren, Deckziegel u. dgl. sind in der Regel als Schutzmittel gegen mechanische Beschädigungen zulässig.

e) Kabel für Betriebsspannungen über 600 Volt, die nicht in Eisenröhren verlegt sind oder keine solide Eisenarmierung besitzen, müssen gegen mechanische Beschädigungen durch eine genügend widerstandsfähige äußere Hülle, z. B. Cementrohre, geschützt sein.

Die Eisenarmierung derartiger Kabel und ebenso eventuell die verwendeten eisernen Schutzrohre sollen thunlichst der ganzen Länge nach geerdet sein.

f) Die Befestigung der Bleikabel darf nicht in der Weise erfolgen, dass die Bleihülle eingedrückt oder beschädigt wird, Rohrhaken sind daher nur bei armierten Kabeln zulässig.

g) Sämmtliches Kabelzugehör (Schaltkästen-, Verbindungs- und Abzweigmuffen, Endverschlüsse u. dgl.) müssen so konstruiert sein, dass das Eindringen von Feuchtigkeit wirksam verhindert und ein guter elektrischer Anschluss vermittelt wird. Die Schächte in den Schaltkästen müssen genügend groß bemessen sein, um eine gefahrlose Handhabung an den daselbst untergebrachten Apparaten zu ermöglichen. Die Bleisicherungen der Innenleiter koncentrischer Kabel müssen schwächer bemessen sein, als jene der Außenleiter, damit sie gegebenenfalls früher abschmelzen als letztere.

h) Die Verlegung von Kabeln hat so zu erfolgen, dass durch dieselben in benachbarten fremden Leitungen keine störenden Induktionserscheinungen auftreten und ein Stromübergang zu denselben unmöglich ist. Zu diesem Behufe ist ein Minimalabstand von mindestens 50 *cm* gegen fremde Leitungen einzuhalten oder, wenn infolge beschränkter räumlicher Verhältnisse der Abstand verringert werden muss (insbesondere bei Kreuzungen), eine feuersichere, schlecht leitende Zwischenschicht (Ziegel etc.) vorzusehen.

XIII. Leitungen in Gebäuden.

A. Art der Verlegung.

a) Alle Leitungen und Apparate sollen womöglich offen verlegt, sonst aber auch nach der Verlegung in ihrer ganzen Ausdehnung in solcher Weise zugänglich sein, dass sie jederzeit geprüft und ausgewechselt werden können.

b) Drahtverbindungen. Drähte dürfen nur durch Verlöthen oder eine gleichgute Verbindungsart verbunden werden. Drähte durch einfaches Umeinanderschlingen der Drahtenden zu verbinden, ist unzulässig.

Zur Herstellung von Löthstellen dürfen Löthmittel, welche das Metall angreifen, nicht verwendet werden. Die fertige Verbindungsstelle ist entsprechend der Art der betreffenden Leitungen sorgfältig zu isolieren. Abzweigungen von frei gespannten Leitungen sind von Zug zu entlasten.

Zum Anschlusse an Schalttafeln oder Apparate sind alle Leitungen über 25 mm^2 Querschnitt mit Kabelschuhen oder einem gleichwertigen Verbindungsmittel zu versehen. Drahtseile von geringerem Querschnitt müssen, wenn sie nicht gleichfalls Kabelschuhe erhalten, an den Enden verlöthet werden.

c) Kreuzungen von stromführenden Leitungen unter sich und mit sonstigen Metalltheilen sind so auszuführen, dass Berührung ausgeschlosssn ist. Kann kein genügender

Abstand eingehalten werden, so sollen isolierende Rohre übergeschoben oder isolierende Platten dazwischen gelegt werden, um die Berührung zu verhindern.

Rohre und Platten sind sorgfältig zu befestigen und gegen Lagenveränderung zu schützen.

d) Wand und Deckendurchgänge sind entweder der in dem betreffenden Raume gewählten Verlegungsart entsprechend auszuführen, oder es sind haltbare Rohre aus isolierendem Material (Holz ausgeschlossen),| welche ein bequemes Durchziehen der Leitungen gestatten, zu verwenden. In diesem Falle ist für jede einzeln verlegte Leitung, sowie für jede Mehrfachleitung je ein Rohr zu verwenden und sind die Rohre in geeigneter Weise abzudichten.

Die Rohre müssen über Decken und Wandflächen mindestens 2 *cm* und über Fußböden mindestens 10 *cm* vorstehen und sind im letzteren Falle gegen mechanische Beschädigung zu schützen. In feuchten Räumen sind entweder Porzellanrohre zu verwenden, deren Enden nach Art der Isolierglocken ausgebildet sind, oder die Leitungen sind frei durch genügend weite Kanäle zu führen.

Betriebsmäßig geerdete Leitungen fallen nicht unter diese Bestimmungen.

e) Schutzverkleidungen sind da anzubringen, wo Gefahr vorliegt, dass Leitungen beschädigt werden können. Leitungen hönnen auch durch Rohre geschützt werden.

B. Isolierung und Befestigung.

Für die Befestigungsmittel und die Verlegung aller Arten von Leitungen gelten folgende Bestimmungen:

a) Isolierglocken dürfen nur in solcher Lage befestigt werden, dass sich keine Feuchtigkeit in der Glocke ansammeln kann.

b) Isolierrollen, Ringe und Porzellan- oder Glasklemmen, müssen so geformt und angebracht sein, dass die Leitung in feuchten Räumen wenigstens 10 *mm* und in trockenen Räumen wenigstens 5 *mm* lichten Abstand von der Wand hat.

Bei Führung längs der Wand soll auf je 80 *cm* mindestens e eine Befestigungsstelle kommen. Bei Führung an den Decken kann die Entfernung im Anschluss an die Deckenkonstruktion ausnahmsweise größer sein. Bei Verlegung massiver Kupferstangen sind größere Abstände der Stützpunkte zulässig.

c) Klemmen müssen aus isolierendem Material oder Metall mit isolierenden Einlagen und Unterlagen bestehen und sind nur in normal trockenen Räumen zulässig.

Auch bei Klemmen müssen die Leitungen von der Wand einen Abstand von mindestens 5 *mm* haben. Die Kanten der Klemmen müssen so geformt sein, dass sie keine Beschädigung des Isoliermaterials verursachen können.

d) Mehrfachleitungen dürfen nicht so befestigt werden, dass ihre Einzelleiter aufeinander gepresst sind; metallene Bindedrähte sind hierbei nicht zulässig.

e) Rohre können zur Verlegung von irolierten Leitungen unter Putz, in und auf Wänden, Decken und Fußboden verwendet werden, sofern sie den Zutritt der Feuchtigkeit dauernd verhindern. Es ist gestattet, Hin- und Rückleitungen in dasselbe Rohr zu verlegen; mehr als 3 Leiter in demselben Rohre sind nicht zulässig. Bei Verwendung metallener Rohre für Wechselstromleitungen müssen Hin- und Rückleitungen in demselben Rohre geführt werden. Drahtverbindungen dürfen nicht innerhalb der Rohre, sondern nur in Verbindungsdosen ausgeführt werden, welche jederzeit leicht geöffnet werden können. Die lichte Weite der Rohre, die Zahl und der Radius der Krümmungen, sowie die Zahl der Dosen müssen so gewählt werden, dass man die Leitungen jederzeit leicht einziehen und entfernen kann.

Die Rohre sind so herzurichten, dass die Isolation der Leitungen durch vorstehende Theile und scharfe Kanten nicht verletzt werden kann. Die Stoßstellen müssen sicher abgedichtet sein. Die Rohre sind so zu verlegen, dass sich an keiner Stelle Wasser sammeln kann. Nach der Verlegung ist die höher gelegene Mündung des Rohrkanals luftdicht zu verschließen.

f) Die direkte Verlegung der Leitungen in Holzleisten ist nicht gestattet.

Krampen sind zur Befestigung von Leitungen nicht gestattet.

g) Einführungsstücke. Bei Wanddurchgängen ins Freie sind Einführungsstücke von isolierendem und feuersicherem Material mit abwärts gekrümmtem Ende zu verwenden.

h) Bei Durchführung der Leitungen durch hölzerne Wände und hölzerne Schalttafeln müssen die Öffnungen durch isolierende und feuersichere Tüllen ausgefüttert sein.

C. Verlegungsart der verschiedenen Leitungsmaterialien.

I. Blanke Leitungen.

a) Blanke Leitungen dürfen in gedeckten Räumen nur bei industriellen Unternehmungen und nur in solchen Fällen zur Verwendung gelangen, wo eine Berührung derselben mit brennbaren Körpern auch bei Bruch der Leitung vollständig ausgeschlossen erscheint.

b) Für derartige blanke Leitungen gelten dieselben Bestimmungen, wie für Freileitungen, mit den in *c* specificierten Erleichterungen.

c) In Räumen, die nur dem Bedienungspersonale der Anlage zugänglich sind (Akkumulatorenräumen, Zellenschalterleitungen, Laufkrahnleitungen), kann unter die in XI, 11 fixierten Minimalabstände heruntergegangen werden. Bei Betriebsspannungen unter 150 Volt können blanke Leitungen in trockenen Räumen und an dauernd trockenen Befestigungsstellen anstatt auf Isolierglocken auf Isolierrollen oder Klemmen etc. aus Glas oder Porzellan befestigt werden, wenn zwischen Draht und Befestigungsstelle eine isolierende Zwischenlage aus Glas oder Porzellan von mindestens 10 *mm* Stärke angebracht ist.

d) In Räumen, wo ätzende Gase oder Dämpfe auftreten, sind die Leitungen durch einen geeigneten Überzug (Anstrich, Einfetten etc.) gegen Oxidation zu schützen.

II. Isolierte Leitungen.

a) Isolation *U*. Derartige Leitungen sind bei der Verlegung wie blanke Leitungen zu behandeln.

b) Isolation *J*. Derartige Leitungen sind nur für Betriebsspannungen bis zu 300 Volt verwendbar. In dauernd trockenen Räumen und an ebensolchen Befestigungsstellen dürfen Leitungen mit Isolation *J* auf Isolierglocken, Isolierringen oder Klemmen, nicht aber in Röhren verlegt werden, auch falls letztere eine isolierende Einlage besitzen. (Bergmannrohre). An und in Beleuchtungskörpern in trockenen Räumen kann Isolation *J* verwendet werden.

c) Isolation *G* kann, insoweit ätzende Dämpfe nicht zu befürchten sind, und bis Betriebsspannungen von 500 Volt ohne besondere Isolation der Befestigungspunkte verlegt werden, auch ist sie zur Verlegung in jeder Art von Röhren zulässig.

d) Isolation *G H*. Bei Betriebsspannungen über 500 Volt ist Isolation *G H* in derselben Weise zu verwenden wie *G* unter 500 Volt.

e) *L* Mehrfachleiter. Für diese gelten, je nachdem sie nach Isolation *J* oder Isolation *G* ausgeführt wurden, die diesbezüglichen Vorschriften. Bei Betriebsspannungen über 500 Volt ist die Isolation *G H* zu verwenden.

f) Blanke Bleikabel *KB* und asphaltierte Bleikabel *KA* müssen, gegen mechanische Beschädigung geschützt, verlegt werden.

g) Armierte Bleikabel *KE* bedürfen eines besonderen Schutzes nicht.

h) Bleikabel jeder Art dürfen nur mit Endverschlüssen, Abzweigmuffen oder gleichwertigen Vorkehrungen, die das Eindringen von Feuchtigkeit wirksam verhindern und gleichzeitig einen guten elektrischen Anschluss vermitteln, verwendet werden.

An den Befestigungsstellen ist darauf zu achten, dass der Bleimantel nicht eingedrückt oder verletzt wird. Rohrhaken sind daher nur bei armierten Kabeln als Befestigungsmittel zulässig.

i) Bei eisenarmierten Kabeln für ein Ein- oder Mehrphasenstrom müssen sämmtliche zu einem Stromkreis gehörigen Leitungen (es muss in diesem Falle die algebraische Summe der Stromstärken sämmtlicher in einem Kabel enthaltenen Leitungen gleich Null sein) in demselben Kabel enthalten sein.

III. Specielle Vorschriften für Betriebsspannungen über 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom.

Alle Leitungen, in welchen derartige Spannungen vorkommen, ausgenommen bei Verwendung asphaltierter, armierter Bleikabel, sind bei der Verlegung so zu behandeln wie Freileitungen.

Bei Verwendung nicht armierter Bleikabel oder Leitungen mit Isolation *GH* sind solche somit gegen Berührung geschützt zu verlegen.

XIV. Beleuchtungskörper und Lampen.

a) Beleuchtungskörper.

Die Rohre von metallenen Beleuchtungskörpern, durch welche Leitungen geführt werden, müssen im Innern von Graten, scharfen Kanten u. dgl., welche die Isolierung der Leitungsdrähte beschädigen können, frei sein.

Dieselben müssen vor dem Einziehen der Drähte von allen Splittern, Feilspänen u. s. w., sowie von Löthsäure durch Waschen gereinigt und darauf getrocknet werden.

Um die Bildung von Kondensationswasser zu verhüten, sollen die Rohre der Beleuchtungskörper am oberen Ende mit Isoliermasse ausgegossen werden.

Zur Montierung der Beleuchtungskörper darf nur Draht oder Leitungsschnur, welche der Vorschrift entspricht, verwendet werden. Außen geführte Drähte müssen derartig befestigt werden, dass ihre Lage durch zufällige Umstände nicht verändert und ihre Isolierung durch die Befestigung nicht verletzt werden kann.

Die Beleuchtungskörper müssen von Erde isoliert aufgehängt, beziehungsweise befestigt werden. Die Befestigung an trockenem Holz oder trockenem Mauerwerk ist zulässig.

Bei besonders schweren Beleuchtungskörpern ist eine Ausnahme zulässig, wenn die zu ihrer Aufhängung, beziehungsweise Anbringung verwendeten Rollen, Bügel, Winden, Bolzen u. s. w. von eisernen Bautheilen isoliert und an dauernd trockenem Mauerwerk angebracht werden. Kandelaber dürfen auf dem Erdboden oder auf nicht isolierten Sockeln aufgestellt werden.

Bei nicht isolierten Beleuchtungskörpern ist die Isolation *G* zu verwenden.

Wenn an Beleuchtungskörpern Gas- und elektrische Beleuchtung vereinigt sind oder wenn rein elektrische Körper an Gasleitungen oder an Eisenkonstruktionen, feuchten Wänden und dgl. befestigt werden, so muss an der Befestigungsstelle eine besondere dauernd wirksame Isoliervorrichtung (siehe IV. *l*) verwendet werden, welche den Übergang des Stromes vom Beleuchtungskörper zur Wand, beziehungsweise zur Erde ver-

hindert. Werden bei kombinierten Beleuchtungskörpern zum Schutze der außen angebrachten Drahtleitungen Rohre verwendet, so darf der Abstand dieser Rohre von den Gasrohren nicht unter 7 *mm* betragen. Eine Verletzung der Drähte durch Bewegen, insbesondere Drehen der Beleuchtungskörper muss dauernd ausgeschlossen sein.

Die Benützung der Leitung zum Aufhängen von Beleuchtungskörpern oder einzlenen Fassungen ist unzulässig; es muss immer eine solche Aufhängung gewählt werden, dass weder die Leitungsdrähte, noch die Verbindungsstellen einem Zuge ausgesetzt sind.

Jeder Beleuchtungskörper muss vor dem Anschluss an die Leitung auf Isolation geprüft werden. Die Isolation eines Beleuchtungskörpers bei 100 Volt Prüfspannung darf nicht unter 250.000 Ohm betragen.

b) Glühlicht.

Die Lampenhalter (Fassungen) müssen derart konstruiert sein, dass die stromführenden Theile auf feuersicherer und feuchtigkeitsbeständiger Unterlage montiert und durch eine ebensolche Umhüllung vor Berührung geschützt sind.

Diese Umhüllung darf zur Stromzuführung nicht benützt werden.

Stoffe, welche durch Wärme eine Formveränderung erleiden könnten, sind als Bestandtheile der Fassungen ausgeschlossen. Bezüglich der Fassungen mit Ausschalter gelten sinngemäß die Vorschriften über die letzteren.

In feuchten Räumen sind die Fassungen gegen das Eindringen von Wasser zu schützen.

Glühlampen müssen in Räumen, in welchen eine Explosion von Gasen, Staub, Fasern u. dgl. stattfinden kann, sowie in feuchten Räumen mit dicht schließenden Schutzglocken, welche auch die Fassungen umgeben, versehen sein. Glühlampen, welche mit entzündlichen Stoffen in unmittelbare Berührung kommen, müssen mit Schalen, Glocken, Schutzgittern oder dergleichen versehen werden, welche die Berührung der Lampen mit den entzündlichen Stoffen verlässlich und dauernd verhindern.

Glühlampen in Reihenschaltung müssen bei 600 Volt und darüber mit einer Vorrichtung versehen sein, welche bei Stromunterbrechung in der Lampe selbstthätig Kurzschluss oder Nebenschluss herstellt; derartige Lampen dürfen nur an festen Beleuchtungskörpern montiert sein, und ist die Verwendung an Gasbeleuchtungskörpern unzulässig.

In feuchten Räumen und im Freien ist die Verwendung transportabler Lampen zu vermeiden. Wo dies nicht möglich, ist jede einzelne Zuführungsleitung durch eine besondere, Feuchtigkeit abschließende Hülle (Gummischlauch) extra zu schützen, und nur Isolation *G* zu verwenden.

c) Bogenlampen.

Das Abfallen heißer Kohlentheilchen von den Kohlenspitzen der Bogenlampen muss durch geeignete Vorrichtungen verhindert werden. Glaskugeln für Bogenlampen müssen ein Drahtschutznetz von nicht unter 50 *mm* Maschenweite erhalten; dieses Schutznetz muss vom Gestell der Lampe getragen werden. Bei Glaskugeln, welche an ihrem unteren Ende gestützt sind, und wobei das Glas von Zug entlastet ist (Bogenlampen-Kandelaber, Janduslampe etc.) kann das Schutznetz entfallen. Die Einführungsöffnungen für die Leitungen an Bogenlampen und an Beleuchtungskörpern für solche, müssen so beschaffen sein, dass die Isolierung der Drähte nicht verletzt werden kann und dass keine Nässe in das Innere der Lampe, beziehungsweise das Gehäuse und die Kugel eindringen kann.

Bogenlampen müssen von ihrem Gehäuse dieses von dem Beleuchtungskörper gut isoliert sein.

Die Verbindungsstellen der Drähte müssen von Zug entlastet bleiben.

Biegsame Zuleitungen müssen derart montiert sein, dass in keiner Lage der Lampe eine Zerrung, Reibung oder Quetschung der Leitung stattfinden kann.

Bei Verwendung von Leitungsdrähten zum Aufhängen der Bogenlampen müssen dieselben aus mehrlitzigen Kabeln bestehen. Verdrillen der Zuleitungen ist in diesem Falle verboten.

In Räumen, in welchen durch Entzündung von Gasen, Staub oder Fasern u. dgl. eine Explosion stattfinden kann, ist die Verwendung von Bogenlampen ausgeschlossen.

Bei bis zu 10 hintereinander geschalteten Lampen genügt ein gemeinsamer Ausschalter.

Bei einer größeren Lampenzahl muss überdies jede Lampe einen selbstthätigen Kurzschluss- oder Nebenschlussausschalter haben und außerdem durch einen, nicht an der Lampe selbst angebrachten Handausschalter spannungslos gemacht werden können.

Die Zuleitungen für Bogenlampen müssen für eine Stromstärke bemessen sein, welche die normale Stromstärke um 50% übersteigt.

Bei Anbringung von Widerständen im Gehäuse der Lampe müssen diese feuersicher montiert sein.

Bei Verwendung von Wechselstrombogenlampen im Freien sind die Aufziehvorrichtungen zu erden, und ist zu verhindern, dass stromführende Theile mit den Aufziehvorrichtungen in Berührung kommen.

XV. Isolation der Anlagen.

Der Isolationswiderstand eines Leitungsnetzes gegen die Erde oder zwischen Theilen derselben Leitung muss, insoweit Spannungsunterschiede vorkommen, mindestens $5000 \frac{E}{J}$ Ohm betragen, worin E den größten Spannungsunterschied in Volt zwischen den betreffenden Leitungen, sowohl untereinander, wie gegen Erde und J die Stromstärke in Ampère bedeutet.

2. Die Messung der Isolation soll mit einer Spannung von mindestens 100 Volt erfolgen, dabei müssen alle Glühlampen, Bogenlampen, Motoren oder andere stromverbrauchende Apparate, von den Leitungen abgetrennt, dagegen alle Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen sein.

3. Bei Isolationsmessungen durch Gleichstrom gegen Erde soll, wenn möglich, der negative Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung gelegt werden, und die Messung soll erst erfolgen, nachdem die Leitung während einer Minute der Spannung ausgesetzt war.

4. In solchen Fällen, wo infolge großer Feuchtigkeit der die Leitung umgebenden Atmosphäre der angegebene Isolationswiderstand nicht erreicht werden kann (wie z. B. Brauereien, Färbereien), ist unter folgenden Bedingungen auch eine geringere Isolation zulässig:

a) Die Leitung muss ausschließlich auf Isolatoren aus feuer- und feuchtigkeitsbeständigem Isolier-Material befestigt und so geführt sein, dass eine Feuersgefahr infolge von Stromableitung dauernd ganz ausgeschlossen ist.

b) Bei Betriebsspannungen über 150 Volt Wechselstrom oder 300 Volt Gleichstrom muss eine zufällige Berührung nicht vollkommen isolierter Theile der Leitung durch unbetheiligte Personen ausgeschlossen sein.

XVI. Pläne.

Für jede Starkstromanlage sollen bei Fertigstellung die erforderlichen Pläne hergestellt werden und zwar:

a) Für Stromerzeugungsstellen und Unterstationen: Schaltungsschemata.

b) Für Fernleitungen und Leitungsnetze: ein Situationsplan mit Angabe der Lage der Unterstationen, Transformatoren, Hausanschlüsse, Streckenausschalter, Sicherungen und Blitzschutzvorrichtungen.

c) Für die Verbrauchsstellen: Pläne und Schaltungsschemata, wobei erstere zu enthalten haben:

1. Lage, Querschnitt und Isolierungsart der Leitungen,
2. Art der Verlegung und des Schutzes,
3. Lage der Apparate und Sicherungen,
4. Lage und Stromverbrauch der Transformatoren, Lampen, Elektromotoren etc.,
5. Bezeichnung der Räume nach Lage und Verwendung. Besonders hervorzuheben sind feuchte Räume und solche, in welchen ätzende oder leicht entzündliche Stoffe oder explosible Gase vorkommen, ferner die Betriebsspannung und Beanspruchung der einzelnen Leitungen.

Für die Pläne sind folgende Bezeichnungen anzuwenden:

= Blitzpfeil.

= Erdung.

= Feste Glühlampe.

= Bewegliche Glühlampe.

5 = Fester Lampenträger mit Lampenzahl (5).

3 = Beweglicher Lampenträger mit Lampenzahl (3).

Obige Zeichen gelten für Glühlampen jeder Kerzenstärke sowie für Fassungen mit und ohne Hahn.

6 = Bogenlampen mit Angabe der Stromstärke (6) in Ampère.

= Dynamomaschine, beziehungsweise Elektromotor jeder Stromart mit Angabe der höchsten zulässigen Beanspruchung in *KW*.

= Akkumulatoren.

= Wandfassung, Anschlussdose.

= Einpoliger, beziehungsweise zweipoliger, beziehungsweise dreipoliger Ausschalter mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (6) in Ampère.

= Umschalter, desgleichen.

= Sicherung (an der Abzweigstelle).

10 = Widerstand, Heizapparat und dergleichen mit Angabe der höchsten zulässigen Stromstärke (10) in Ampère.

= Desgleichen beweglich angeschlossen.

7·5 = Transformator mit Angabe der Leistung in *KW* (7·5).

= Drosselspule.

= Blitzschutzvorrichtung.

[symbols] = Zweileiter, beziehungsweise Dreileiter oder Drehstromzähler des Messbereichs in *K W* (5, beziehungsweise 20).

———— = Zweileiter-Schalttafel.

[symbol] = Dreileiter-Schalttafel oder Schalttafel für mehrphasigen Wechselstrom.

.... = Einzelleitung.

———— = Hin- und Rückleitung.

[symbol] = Dreileiter- oder Drehstromleitung.

-·-·-·-·- = Fest verlegte biegsame Mehrfachleitung jeder Art.

/ = nach oben führende Steigleitung.

/ = nach unten führende Steigleitung.

B = Blanker Kupferdraht.
B S = Blankes Kupferseil.
B E = Blanker Eisendraht.
U = Umhüllte Leitung.
J = Leitungen mit Paragummi.
G = Leitung mit nahtloser Gummiisolierung.
Lr = Litze rund.
Lf = Litze flach.
Lz = Zwillingslitze.
K B = Blankes Bleikabel.
K A = Asphaltisches Kabel.
K E = Eisenbandarmiertes Bleikabel.
(*g*) = Verlegung auf Isolierglocken.
(*r*) = Verlegung auf Rollen oder Ringen.
(*k*) = Verlegung auf Klemmen.
(*o*) = Verlegung in Rohren.

Die Pläne und Schemata sind vom Besitzer der Anlage aufzubewahren und etwaige Änderungen nachzutragen.

XVII. Schutzmaßregeln beim Betriebe.

I. Hochspannungsanlagen.

A. Überwachung.

An allen elektrischen Einrichtungen einer Anlage mit Betriebsspannungen über 300 Volt Wechselstrom oder 600 Volt Gleichstrom sollen vor deren Verwendung Spannungsproben vorgenommen werden.

Soferne nicht für einzelne Theile derselben in den Ausführungsvorschriften höhere Spannungen vorgeschrieben sind, hat die Spannungsprobe mindestens mit der höchsten beim Betriebe vorkommenden Spannung zu erfolgen.

Überdies ist vor der ersten Inbetriebsetzung einer jeden elektrischen Anlage an allen Theilen derselben eine Isolationsmessung vorzunehmen mit einer Messspannung, die nicht unter 100 Volt betragen soll. Die vorstehenden Vorschriften gelten auch von jeder Erweiterung der Anlage. Es sind Vorrichtungen vorzusehen, welche gestatten, den Isolationszustand der Anlage während des Betriebes jederzeit zu beobachten.

Es ist weiter erforderlich, dass alle zum Schutze des Personales isoliert hergestellten Einrichtungen (Bedienungsgänge u. dgl.), sowie die für Arbeiten unter Strom

vorhandenen Ausrüstungen (isolierte Werkzeuge, isolierende Kleidungsstücke etc.) in geeigneten periodischen Zwischenräumen genau untersucht, eventuell auf Isolation geprüft werden.

Eine solche Untersuchung ist auch unmittelbar nach jedem Vorkommnis, welches geeignet war, die Isolation zu beeinträchtigen, durchzuführen.

Zur dauernden Erhaltung des vorgeschriebenen Zustandes der Gestänge, der Leitung, der Sicherheitsvorrichtungen und der Erdung mit ihren Kontakten muss eine Überwachung in der Weise stattfinden, dass jährlich mindestens einmal eine eingehende Revision aller Theile und außerdem vierteljährig mindestens einmal eine Begehung sämmtlicher Freileitungen vorgenommen wird.

Nach Vorkommnissen, welche geeignet waren, den ordnungsmäßigen Zustand dieser Einrichtungen zu beeinträchtigen, ist die Revision der betreffenden Theile der Anlage zu wiederholen. Über das Ergebnis sämmtlicher Messungen und Revisionen ist Buch zu führen.

B. Schutzmaßregeln beim Betriebe.

Nach Maßgabe der Zulässigkeit des Betriebes sollen Arbeiten an Bestandtheilen und Leitungen einer Hochspannungsanlage grundsätzlich nur im stromlosen Zustande derselben ausgeführt werden. Ist aus Betriebsrücksichten eine solche Abschaltung nicht möglich, so sind die Arbeiten unter besonderen Vorsichtsmaßregeln zu bewerkstelligen. Sie dürfen nur im Auftrage der Betriebsleitung und nur von einem geschulten Elektrikerpersonale zur Ausführung gelangen.

Die in Benützung kommenden Werkzeuge sind mit gut isolierenden Handhaben zu versehen und sind während der Arbeit überdies gut isolierende Handschuhe zu verwenden. Dort, wo kein isolierender Bedienungsgang vorhanden ist, soll in einer anderen Weise die Isolierung der Arbeitenden gegen Erde hergestellt werden, z. B. mittelst eines Isolierschemels, mittelst isolierender Fußbekleidung u. dgl. Bei Bedienung von Lampen in Hochspannungskreisen ist unter allen Umständen eine vorherige Ausschaltung an allen Polen vorzunehmen, und sind die abgeschalteten Lampen zu erden. Apparate und Leitungen, die nur zeitweilig unter Strom sind, müssen stets so behandelt werden, als wenn sie stromführend wären; desgleichen die nicht stromführenden Metalltheile und Gestelle von im Betriebe befindlichen Hochspannungsapparaten. Ein Einzelner, ohne Begleitung, darf während des Betriebes, niemals Arbeiten an Hochspannungsleitungen oder Apparaten ausführen. Der Begleiter hat ebenfalls isolierende Handschuhe anzuziehen. Die Handhabung von Schaltern, sowie das Auswechseln von Sicherungen sind nicht als Arbeiten im Sinne der vorstehenden Bestimmungen zu betrachten. Jeder Elektriker muss über das Verhalten beim Hochspannungsbetriebe, sowie bei Arbeiten an Hochspannungsanlagen genau belehrt werden und sind ihm überdies diese Verhaltungsmaßregeln in Form geschriebener oder gedruckter Vorschriften zu übergeben.

In jeder Betriebsstätte sollen überdies Vorschriften über die Behandlung von Personen, die vom elektrischen Strom getroffen wurden, aufliegen, und ist das Personale auch nach dieser Richtung hin zu belehren.

II. Akkumulatoren.

A. Gegen elektrische Unfälle.

Die Leitungen und deren Isolation, die isolierenden Gefäßuntersätze, der Anstrich und die Lackierung sind fortwährend in gutem Gebrauchszustand zu halten, schalenförmige Untersätze zur Isolation der Elemente nicht mit Öl zu füllen. Das Tragen von metallenen Uhrketten ist den am Schaltbrett und bei den Zellenschaltern beschäftigten Arbeitern untersagt.

Arbeiten an den Zellen, Reparaturen, Spannungsmessungen, Nachfüllungen dürfen bei Spannungen über 300 Volt nur dann erfolgen, wenn der Arbeiter durch Gummihandschuhe und Stehen auf einem trockenen Brette geschützt ist.

B. Gegen Säure-Unfälle.

Jeder mit Säure manipulierende Arbeiter ist über die Gefahren, welche eine ungeschichte Handhabung mit sich bringt, zu belehren. Säurebehälter jeder Art sowie Eingießkrüge sind als solche deutlich zu bezeichnen, wobei Gefäße, welche koncentrierte Säure enthalten, besonders kenntlich zu machen sind.

Die Aufbewahrung von Säuren jeder Art darf nur in abgeschlossenen, nur zu diesem Zwecke dienenden Aufbewahrungsräumen erfolgen.

Die Verdünnung koncentrierter Säure hat dadurch zu geschehen, dass man die koncentrierte Säure in dünnen Strahlen ins Wasser laufen lässt unter lebhafter Umrührung des letzteren. Beim Umfüllen von Säure mittelst eines Schlauches oder Hebers ist dieser vorher mit Wasser zu füllen und in das zu entleerende Gefäß zu versenken, worauf das Auslaufen von selbst beginnt; niemals darf mit dem Munde angesaugt werden. Bei Verletzungen mit Säure am Körper oder an den Kleidern ist solche zunächst trocken abzuwischen und dann verdünntes Ammoniak (Salmiakgeist) oder Soda-Pottasche anzuwenden, wovon entsprechende Mengen vorräthig zu halten sind. Säure darf nur in Glas, Porzellan oder Steingutgefäßen oder aber mit Blei ausgeschlagenen Behältern mit Deckel, ähnlich den Akkumulatorenkästen, aufbewahrt werden. Glasballons oder Flaschen müssen bei koncentrierter Säure mit eingeriebenen Stöpseln versehen sein. Es empfiehlt sich die Anbringung von Ausgussschnautzen aus Kautschuk für die Entleerung.

C. Gegen Gase und Dämpfe.

Der Akkumulatorenraum muss so gut ventiliert sein, wie es etwa für einen Wohnraum erforderlich wäre.

Während der Gasentwicklung am Ende der Ladung sind einige Fensterflügel offen zu halten, so dass ein deutlicher Luftzug entsteht, wo dies nicht angeht, ist mechanische Ventilation anzubringen und während der Gasentwicklung im Gang zu erhalten, wenn nicht eine genügende Ventilation durch Ventilationsschlotte erreicht werden kann. Es erscheint nicht nothwendig, eine besonders wirksame Ventilation der Akkumulatorenräume vorzuschreiben, da die Erfahrung gezeigt hat, dass die entwickelten Gase und Säuredämpfe der Gesundheit nicht schädlich sind.

Die den Säuredünsten ausgesetzten Leitungen und Metalltheile sind gut lackiert oder eingefettet zu erhalten.

D. Gegen Blei-Unfälle.

Für die Arbeiter sind Waschvorrichtungen, Bürsten zum Putzen der Nägel und Kernseife beizustellen. Bei Bleiarbeiten darf das Essen, Trinken und Rauchen nicht gestattet werden; die Arbeiter sind durch kurze Aufschriften hievor, sowie vor Berührung des Mundes, der Zunge oder essbarer Dinge mit bleibeschmutzten Fingern oder dergleichen zu warnen und zum Gebrauch der Waschvorrichtungen aufzufordern. Bei länger andauernden Bleiarbeiten ist den Arbeitern täglich je zweimal je $^1/_2$ *l* frischer Milch in natura zu verabreichen.

Wien, Mai 1899.

V. Entwurf zu Sicherheitsregeln für elektrische Bahnanlagen. [1])

Die im Folgenden gegebenen Vorschriften gelten für die elektrischen Einrichtungen von Bahnanlagen mit oberirdischer Zuleitung, sowie mit Akkumulatoren in den Wagen soweit die Betriebsspannung zwischen 250 und 1000 Volt liegt. Ergänzende Vorschriften für andere Systeme bleiben vorbehalten.

Diejenigen Theile von Bahnanlagen, welche mit mehr als 1000 Volt betrieben werden, fallen unter die Hochspannungsvorschriften.

I.

Centralen und Kraftstationen.

§ 1.

Für die Kraftstationen, welche dem elektrischen Bahnbetrieb dienen, gelten die Sicherheitsvorschriften für elektrische Mittelspannungsanlagen.

Wagenschuppen sind als Betriebsräume im Sinne der Mittelspannungsvorschriften anzusehen.

II.

Leitungsanlagen.

Auch für die Leitungsanlagen elektrischer Bahnen gelten die Sicherheitsvorschriften für elektrische Mittelspannungsanlagen, jedoch mit folgenden Ausnahmen:

§ 2.

An Stelle des § 9 der Vorschriften für Mittelspannung treten folgende Bestimmungen:

a) Für Bahnen sind wetterbeständig isolierte Freileitungen zulässig.

b) Fahrdrähte und Speiseleitungen, welche nicht auf Porzellandoppelglocken verlegt sind, müssen gegen Erde doppelt isoliert sein.

c) Die Höhe der Leitungen über öffentlichen Straßen darf auf offener Strecke nicht unter 5 *m* betragen. Eine geringere Höhe ist bei Unterführungen zulässig, wenn geeignete Vorsichtsmaßregeln getroffen oder Warnungstafeln angebracht werden.

d) Bei elektrischen Bahnen auf besonderem Bahnkörper, soweit dieser dem Publikum nicht zugänglich ist, können die Leitungen in beliebiger Höhe verlegt werden, wenn bei der gewählten Verlegungsart die Strecke von instruiertem Personal ohne Gefahr begangen werden kann. An Haltestellen und Übergängen sind die Leitungen gegen zufällige Berührung durch das Publikum zu schützen und Warnungstafeln anzubringen.

e) Spannweite und Durchgang müssen derart bemessen werden, dass Gestänge aus Holz eine zehnfache und aus Eisen eine vierfache Sicherheit, Leitungen bei minus 20° C. eine fünffache Sicherheit (bei Leitungen aus hartgezogenem Metall eine dreifache Sicherheit), dauernd bieten. Dabei ist der Winddruck mit 125 *kg* für 1 m^2 senkrecht getroffener Fläche in Rechnung zu bringen.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, S. 363.

Dieser Entwurf, welcher von der Sicherheitskommission des Verbandes deutscher Elektrotechniker in ihrer Versammlung zu Magdeburg angenommen wurde, wird dem Verbandstage zu Kiel zur Beschlussfassung vorgelegt werden.

f) Den örtlichen Verhältnissen entsprechend sind Freileitungen durch Blitzschutzvorrichtungen zu sichern, die auch bei wiederholten Blitzschlägen wirksam bleiben. Es ist dabei auf eine gute Erdleitung Bedacht zu nehmen, die unter möglichster Vermeidung von Krümmungen auszuführen ist. Fahrschienen können als Erdleitung benutzt werden.

g) Alle blanken oberirdischen Leitungen in bebauten Straßen müssen streckenweise ausschaltbar sein.

h) Bezüglich der Sicherung vorhandener Telephon- und Telegraphenleitungen gegen Störungen durch elektrische Bahnen wird auf § 12 [1]) des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 verwiesen.

§ 3.

Fahrdrähte unterliegen nicht der Bestimmung, dass ihre Anschluss- und Abzweigungsstellen vom Zuge entlastet sein müssen; dieselben müssen aber an den Unterbrechungen verankert sein.

§ 4.

An die Stelle des § 24 *b* der Mittelspannuugsvorschriften tritt folgende Bestimmung: Der Isolationswiderstand von oberirdischen Bahnleitungen muss, bei Regenwetter und mit der Betriebsspannung gemessen, mindestens 50.000 Ohm für das Kilometer einfacher Länge betragen.

In mindestens halbjährigen Zwischenräumen sollen besondere Kontrollemessungen vorgenommen werden, bei denen jede Speissleitung mit dem zugehörigen Theile des Arbeitsdrahtes als besonderer Messkreis gilt. Über den Befund der Messungen ist Buch zu führen.

In mindestens halbjährigem Turnus sind die einzelnen Isolationspunkte durchzumessen.

§ 5.

An Stelle des § 26 *a*, Absatz 1 der Mittelspannungsvorschriften tritt folgende Bestimmung: Das Arbeiten an stromführenden Fahrdrähten und Speiseleitungen ist gestattet, wenn es von instruierten Arbeitern geschieht, die auf einem isolierenden Thurmwagen oder einer isolierenden Leiter stehen.

Zum Zwecke gegenseitiger Hilfeleistung sollen stets zwei Arbeiter gemeinschaftlich arbeiten.

§ 6.

Bei Bahnen, deren Schienen als Leitung dienen, ist der negative Pol der Dynamomaschinen durch isolierte Leitungen mit der Gleisanlage zu verbinden.

III.

Fahrzeuge.

Für Motorwagen und für Anhängewagen, soweit die letzteren mit Starkstromleitung ausgerüstet sind, gelten die sämmtlichen im Folgenden aufgeführten Bestimmungen und nur diese.

§ 7.

a) Isolation. Eine Isolation gilt als genügend, wenn die Isolierstoffe in solcher Stärke verwendet werden, dass sie bei den im Betrieb vorkommenden Temperaturen von

[1]) Dieser Paragraph lautet: „Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Theiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beeinflussen."

einer Spannung, welche die Betriebsspannung um 1000 Volt überschreitet, nicht durchgeschlagen werden.

Außerdem muss das Isoliermaterial derartig gestaltet und bemessen sein, dass ein merklicher Stromübergang über die Oberfläche (Oberflächenleitung) unter normalen Verhältnissen nicht eintreten kann.

Bei Steuerapparaten (Kontrollern) ist imprägniertes Holz als Isolationsmaterial zulässig.

b) Erdung. Als genügende Erdung für Fahrzeuge gilt die leitende Verbindung mit den Radreifen durch das Untergestell.

c) Isolierte Leitungen. Als isolierte Leitungen gelten umhüllte Leitungen, die nach 24stündigem Liegen im Wasser eine Überspannung von 1000 Volt gegen das Wasser eine Stunde lang aushalten.

d) Feuersichere Gegenstände. Als feuersicher gilt ein Gegenstand, der nicht entzündet werden kann oder nach Entzündung nicht von selbst weiterbrennt.

§ 8.

Generatoren, Motoren und Transformatoren.

Die Gestelle von zugänglich aufgestellten Generatoren, Motoren und Transformatoren müssen dauernd geerdet sein. Durch die Art der Aufstellung oder durch besondere Geländer muss dafür gesorgt sein, dass Personen auch bei Schleudern des Wagens nicht in Berührung mit blanken stromführenden Theilen oder sich bewegenden Theilen gelangen können. Die Aufstellung ist derart auszuführen, dass etwaige im Betriebe auftretende Feuererscheinungen keine Entzündung von brennbaren Stoffen hervorrufen können.

§ 9.

Akkumulatoren.

Akkumulatoren elektrischer Fahrzeuge können auf Holz montiert werden, wobei einmalige Isolation durch nicht hygroskopische Zwischenlagen ausreicht. Soweit nur instruiertes Personal in Betracht kommt, braucht die Möglichkeit, dass eine Person Theile verschiedener Spannung gleichzeitig berührt, nicht ausgeschlossen sein. Während des normalen Betriebes dürfen die Akkumulatoren dem Publikum nicht zugänglich sein.

Celluloid ist zur Verwendung als Kästen und außerhalb des Elektrolyten unzulässig.

§ 10.

Schalttafeln.

Schalttafeln in oder an Fahrzeugen dürfen Holz nur als Konstruktionsmittel enthalten. Stromführende blanke Metalltheile und solche Apparate, welche betriebsmäßig Funken erzeugen, müssen auf feuersicherer Unterlage montiert und müssen derart angeordnet sein, dass die Feuererscheinungen weder Personen noch brennbare Stoffe gefährden können. Blanke stromführende Metalltheile müssen gegen zufällige Berührung geschützt sein.

§ 11.

Leitungen.

a) Der Querschnitt aller Leitungsdrähte innerhalb des Fahrzeuges ist nach der Normalstromstärke der vorgeschalteten Sicherung laut folgender Tabelle oder stärker zu bemessen. Drähte für Bremsstrom sind mindestens von gleicher Stärke wie die Motorzuleitungen zu wählen.

Querschnitt in mm^2	Normalstromstärke der Sicherung	Querschnitt in mm^2	Normalstromstärke der Sicherung
0·75	2	35	80
1	4	50	100
1·5	6	70	130
2·5	10	95	165
4	15	120	200
6	20	150	235
10	30	185	275
16	40	240	330
25	60		

b) Isolierte Leitungen müssen eine Gummiisolierung in Form einer ununterbrochenen nahtlosen und vollkommen wasserdichten Hülle besitzen. Die Gummiisolierung muss durch eine Umhüllung aus faserigem Material noch besonders geschützt sein.

c) Mehrfachleitungen sind zulässig, wenn jeder Leiter nach *b* isoliert ist.

Es ist hierbei statthaft, die isolierten Leitungen anstatt einzeln auch durch gemeinsame Umhüllung aus faserigem Material zu schützen.

d) Wenn vulkanisierte Gummiisolierung verwendet wird, muss der Leiter verzinnt sein.

e) Blanke Leitungen sind nur als Verbindungsglieder zwischen Batteriezellen oder Widerstandselementen und nur dann zulässig, wenn sie sicher isoliert verlegt und gegen Berührung geschützt sind.

f) Isolierte Leitungen in Fahrzeugen müssen so geführt werden, dass die Isolierung nicht durch die Wärme benachbarter Widerstände gefährdet werden kann.

g) Alle festverlegten Leitungen sind derart anzubringen, dass sie nur dem instruierten Personal, nicht aber dem Publikum zugänglich sind.

h) Leitungsdrähte dürfen nur durch Verlöthen, Verschrauben oder auf eine gleichwertige Verbindungsart mit einander verbunden werden. Drähte durch einfaches Umeinanderschlingen der Drahtenden zu verbinden, ist unzulässig.

Zur Herstellung von Löthstellen dürfen Löthmittel, welche das Metall angreifen, nicht verwendet werden. Die fertige Verbindungsselle ist entsprechend der Art der betreffenden Leitungen sorgfältig zu isolieren.

i) Die Verbindung der Leitungen mit den Apparaten ist mittelst gesicherter Schrauben oder durch Löthung auszuführen. Drahtseile bis zu 6 mm^2 und Drähte bis zu 25 mm^2 Kupferquerschnitt können mit angebogenen Ösen an den Apparaten befestigt werden. Drahtseile über 6 mm^2, sowie Drähte über 25 mm^2 Kupferquerschnitt müssen mit Kabelschuhen oder einem gleichwertigen Verbindungsmittel versehen sein. Drahtseile von geringerem Querschnitt müssen, wenn sie nicht gleichfalls Kabelschuhe erhalten, an den Enden verlöthet werden.

k) Nebeneinander verlaufende isolierte Leitungen müssen entweder zu Mehrfachleitungen mit einer gemeinsamen wasserdichten Schutzhülle zusammengefasst werden, derart, dass ein Verschieben und Reiben der Einzelleitungen ausgeschlossen ist; dabei ist die Isolierhülle an den Austrittsstellen von Leitungen gegen Wasser abzudichten oder die Leitungen sind getrennt mittelst Isolierkörper zu verlegen und wo sie Wände oder Fußböden durchsetzen, durch Isoliertüllen so zu führen, dass sie sich an diesen Stellen nicht scheuern können.

l) Isolierte Drähte können direkt auf Holz verlegt und Holzleisten können zur Verkleidung derselben benutzt werden.

m) Verbindungsleitungen zwischen Motorwagen und Anhängewagen sollen so angebracht sein, dass das Publikum nicht in die Lage gesetzt wird, sie zufällig zu berühren. Bewegliche Kuppelungsstücke sollen so mit Isoliermaterial bekleidet sein, dass auch die ausgelösten Kontaktheile beim etwaigen Niederfallen keine leitende Berührung machen können.

n) Leitungen, die einer Verbiegung oder einer Verdrehung ausgesetzt sind, müssen aus leicht biegsamen Seilen hergestellt und über der Isolierung mit einem wasserdichten Schlauch versehen sein.

o) In unmittelbarer Nähe von Metalltheilen sind die Leitungen über der Isolierung noch mit einem besonderen feuchtigkeitsbeständigen Isolierrohr oder Schlauch zu überziehen; alsdann ist die Erdung und Verbindung der Metalltheile nicht erforderlich.

p) Krampen sind nur zur Befestigung von blanken Leitungen, die mit dem Wagengestell dauernd in leitender Verbindung sind, zulässig.

q) Rohre können zur Verlegung isolierter Leitungen in und auf Wänden, Decken und Fußboden verwendet werden, sofern sie die Leitungen gegen die Wirkungen von Feuchtigkeit schützen. Sie können aus Metall oder feuchtigkeitsbeständigem Isolierstoff oder aus Metall mit isolierender Auskleidung bestehen. Bei Verwendung eiserner Rohre für Ein- oder Mehrphasenstromleitungen müssen sämmtliche zu einem Stromkreise gehörige Leitungen in demselben Rohre verlegt werden.

Drahtverbindungen dürfen nicht innerhalb der Rohre, sondern nur in Verbindungsdosen ausgeführt werden, die jederzeit leicht geöffnet werden können.

Die Rohre sind so herzurichten, dass die Isolierung der Leitungen durch vorstehende Theile oder scharfe Kanten nicht verletzt werden kann; die Stoßstellen müssen sicher abgedichtet sein. Metallrohre sind leitend zu verbinden und zu erden. Die Rohre sind so zu verlegen, dass sich an keiner Stelle Wasser ansammeln kann.

§ 12.

Apparate.

Die stromführenden Theile von Apparaten müssen, soweit sie der zufälligen Berührung zugänglich sind, mit Schutzkästen umgeben sein. Die Kontakte sind derart zu bemessen, dass in regelrechtem Betriebe keine Erwärmung von mehr als 50° C. über Lufttemperatur eintreten kann.

§ 13.

Steuerapparate.

Die Kurbeln der Steuerapparate müssen und zwar nur in ausgeschalteter Stellung, abnehmbar sein.[1])

§ 14.

Sicherungen.

a) Jeder Motorwagen muss wenigstens eine Hauptsicherung für die motorischen Theile haben. Die Lichtleitung und die Heizleitung müssen besonders gesichert sein, ebenso sind Akkumulatorenstromkreise zu sichern. Der Stromkreis einer Kurzschlussbremse darf keine Sicherung enthalten.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, S. 653.

b) Die Sicherungen, zu denen auch die Automaten zu rechnen sind, müssen derart konstruiert sein, dass beim Funktionieren derselben (selbst bei Kurzschluss) kein dauernder Lichtbogen entstehen kann. Bei Abschmelzsicherungen darf der Kontakt nicht unmittelbar durch weiche plastische Metalle und Legierungen vermittelt werden, sondern wenn die Sicherung aus weichem Metall besteht, müssen die Schmelzdrähte oder Schmelzstreifen in Kontaktstücke aus Kupfer oder gleichgeeignetem Metall eingelöthet sein.

Die Maximalspannung und die Normalstromstärke sollen auf dem auswechselbaren Einsatz der Sicherung verzeichnet sein.

c) Die Sicherungen müssen so angebracht sein, dass sie beim Funktionieren weder das Publikum gefährden, noch für benachbarte brennbare Gegenstände eine Feuersgefahr herbeiführen.

§ 15.

Ausschalter.

Der Lampenkreis, der etwaige Heizkreis und der etwaige Akkumulatorenkreis müssen selbständig ausschaltbar sein. Die Schalter müssen so konstruiert sein, dass sich kein dauernder Lichtbogen bilden kann und dass man erkennen kann, ob der Stromkreis geschlossen oder offen ist.

Metallkontakte sollen Schleifkontakte sein. Die Schalter müssen so angebracht beziehungsweise geschützt sein, dass sie weder das Publikum noch benachbarte brennbare Theile gefährden können.

Griffe und Gehäuse sind thunlichst aus Isoliermaterial herzustellen.

§ 16.

Widerstände.

Widerstands- und Heizapparate sind derart anzuordnen, dass eine Berührung zwischen den wärmeentwickelnden Theilen und entzündlichen Stoffen, sowie eine feuergefährliche Erwärmung der letzteren nicht vorkommen kann.

Die stromführenden Theile derselben dürfen während des normalen Betriebes dem Publikum nicht zugänglich sein.

§ 17.

Lampen und Zubehör.

Die unter Spannung stehenden Theile von Lampen nebst Zubehör müssen, soweit sie ohne besondere Hilfsmittel erreichbar sind, mit einer Schutzhülle aus Isoliermaterial versehen sein.

Die stromführenden Theile der Fassungen müssen auf feuersicherer Unterlage montiert und durch feuersichere Umhüllung vor Berührung geschützt sein. Stoffe, die in der Wärme entzündlich sind oder Formveränderungen erleiden, sind als Bestandtheile im Innern der Fassungen ausgeschlossen.

Fassungen mit Ausschalter (Hahnfassungen) sind verboten. Für Bogenlampen gelten die allgemeinen Mittelspannungsvorschriften.

§ 18.

Der Verband deutscher Elektrotechniker behält sich vor, Abänderungen und Erweiterungen dieser Vorschriften nach Bedürfnis herauszugeben.

VI. Anleitung zur ersten Hilfeleistung bei Unfällen in elektrischen Betrieben. [1])

(Genehmigt von dem Verbande Deutscher Elektrotechniker auf der Jahresversammlung zu Hannover 1899.)

I. Verbrennungen.

1. Bei bloßer Röthung und Schmerz kühle man durch kaltes Wasser (Wasserleitung) oder Eis, lege einen Verband mit Watte an, die in Brandsalbe getaucht ist, und befestige darüber eine Binde.

2. Bei Blasenbildung sind die Blasen nicht abzureißen, sondern mit einer Nadel, die vorher ausgeglüht ist, aufzustechen, damit das Wasser herausfließt. Nach dem Auslaufen der Flüssigkeit ist eine vierfache Lage von Jodoformgaze und darüber Watte und eine Binde zu legen. (Vor dem Abschneiden der Gaze sind die Hände auf das Sorgfältigste in Wasser und hierauf in Sublimatlösung 1 : 1000 zu waschen.)

3. Bei Verkohlungen und Schorfbildungen ist auf die betreffende Stelle eine vierfache Lage von Jodoformgaze und darauf Watte und Binde zu legen.

II. Bewusstlosigkeit.

1. Unter allen Umständen ist sofort nach einem Arzt zu schicken.

2. Alle den Körper des Verunglückten beengenden Kleidungsstücke (Hemdkragen, Beinkleider) sind zu öffnen.

3. Man lege den Verunglückten auf den Rücken und überzeuge sich vor allem davon, ob noch eine Spur von Athmung vorhanden ist. In diesem Falle bringe man den Kopf in etwas erhöhte Lage und mache Umschläge mit kaltem Wasser oder Eis auf die Stirn. Ferner empfiehlt es sich in diesem Falle, eine Einspritzung mit Kampferöl (eine Spritze voll) unter die Haut zu machen. Die Einspritzung ist nach 10 Minuten zu wiederholen, falls noch kein Arzt gekommen sein sollte.

4. Ist keine Athmung mehr nachweisbar, so lege man den Verunglückten auf den Rücken und bringe ein Polster aus zusammengelegten Kleidungsstücken, z. B. einen zusammengerollten Mantel, unter die Schultern. Der Polster muss so groß sein, dass das Rückgrat gestützt wird, der Kopf dagegen frei nach hinten überhängt. Nun kniee man hinter den Kopf des Betäubten nieder, das Gesicht ihm zugewandt, ergreife beide Arme unterhalb der Ellenbogen und ziehe sie über seinen Kopf hinweg, so dass man sie über seinem Kopf fast ganz zusammenbringt — Einathmung. In dieser Lage sind die Arme 2—3 Sekunden lang festzuhalten. Dann bewege man sie abwärts, beuge sie und presse die Ellenbogen mit dem eigenen Körpergewicht fest gegen die Brustseiten des Betäubten — Ausathmung. Nach 2—3 Sekunden strecke man die Arme wieder über dem Kopfe des Betäubten aus und wiederhole das Ausstrecken und Anpressen der Arme möglichst regelmäßig und ohne Übereilung etwa 15mal in der Minute.

Sind zwei Helfer zugegen, so fasse der Zweite während dieser Versuche die Zunge des Betäubten mit einem Taschentuche, ziehe sie kräftig heraus, so oft die Arme

---

[1]) Siehe auch Charas, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1901, S. 9 ff.

über den Kopf gezogen werden, und lasse sie zurückgehen, wenn die Arme zur Brust geführt werden. Diese Maßregel befördert die Athmung sehr. Wenn der Mund nicht leicht aufgeht, öffne man ihn gewaltsam mit einem Stück Holz oder dgl.

Sind noch mehr Helfer zur Hand, so sind die oben aufgeführten Versuche von zweien auszuführen, indem jeder einen Arm ergreift, und beide gleichzeitig auf das Kommando 1, 2, 3, 4 diese Bewegungen machen.

Die beschriebene künstliche Athmung ist solange fortzusetzen, bis die regelmäßige natürliche Athmung wieder eingetreten ist Wenn das nicht der Fall ist, muss die künstliche Athmung bis zur Ankunft des Arztes, mindestens aber zwei Stunden lang fortgesetzt werden, ehe man auf weitere Wiederbelebungsversuche verzichten darf.

5. Das Einflößen irgend welcher Flüssigkeiten durch den Mund ist zu unterlassen.

Tabelle.

Durchmesser-Querschnitte und Widerstände für Drähte aus Krupp'schem Widerstandsmaterial.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Gewicht für 1 *m* in *g*	Meterzahl für 1 *kg*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
0·50	0·196	1·588	629·7	4·34300	0·230
0·75	0·442	3·581	279·3	1·92600	0·519
1·00	9·785	6·360	157·2	1·08400	0·922
1·25	1·227	9·941	100·6	0·69380	1·441
1·50	1·767	14·320	69·8	0·48180	2·076
1·75	2·405	19·490	51·3	0·35400	2·825
2·00	3·142	25·460	39·3	0·27090	3·691
2·25	3·976	32·210	31·0	0·21410	4·671
2·50	4·909	39·770	25·1	0·17340	5·767
2·75	5·940	48·130	20·8	0·14330	6·976
3·00	7·069	57·270	17·5	0·12050	8·303
3·50	9·621	77·950	12·8	0·08848	11·302
4·00	12·570	101·840	9·8	0·06772	14·766
4·50	15·900	128·820	7·8	0·05354	18·677
5·00	19·640	159·120	6·3	0·04335	23·071

Specifisches Gewicht[1]) 8·102. Absolute Festigkeit für 1 mm^2 60 *kg*, Dehnung in % 22—25, specifischer Widerstand in Mikroohm $\frac{cm}{cm^2}$ mittl. Wert bei 20° *C*[1]) 85·13 Temperatur-Koëfficient, mittl. Wert[1]) 0·0007007.

Tabelle

über Gewichte und Widerstände von Eisendrähten.

Kreisförmiger Querschnitt (15°), Spec. Gewicht = 7·7, Widerstand von 1 *m* 1 mm^2 bei 15° = 0·10 Ω.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in mm^2	Meterzahl für 1 *kg*	Gewicht für 1 *m* in *g*	Widerstand für 1 *m* in Ohm	Länge für 1 Ohm in *m*
0·5	0·196	662·0	1·51	0·509	1·96
1·0	0·785	165·0	6·05	0·127	7·85
1·5	1·767	73·5	13·6	0·057	17·5
2·0	3·142	41·3	24·2	0·032	31·3
2·5	4·909	26·5	37·7	0·0202	49·6
3·0	7·07	18·4	54·4	0·0141	71·2
3·5	9·62	13·5	74·1	0·0104	98·3
4·0	12·57	10·3	96·8	0·0080	125·0
4·5	16·62	8·20	122·0	0·0063	158·0
5·0	19·64	6·62	151·0	0·0050	200·0
5·5	23·76	5·46	183·0	0·0042	239·0
6·0	28·27	4·60	217·5	0·00352	284·0

[1]) Nach Bestimmungen der Physikal.-techn. Reichsanstalt.

Widerstand von
für Drahtdurchmesser von 0·05—4·0 *mm* und

Draht-durch-messer	Kupfer		Phosphor- und Siliciumbronce							
mm	0·016	0·017	0·018	0·019	0·020	0·025	0·030	0·04	0·05	0·06
0·05	8·14	8·65	9·16	9·67	10·19	12·73	15·3	20·4	25·5	30·6
0·10	2·04	2·16	2·29	2·42	2·55	3·18	3·8	5·1	6·4	7·6
0·15	0·91	0·96	1·02	1·08	1·13	1·41	1·70	2·26	2·83	3·4
0·20	0·51	0·54	0·57	0·60	0·64	0·80	0·95	1·27	1·59	1·91
0·25	0·33	0·35	0·37	0·39	0·41	0·51	0·61	0·81	1·02	1·22
0·30	0·226	0·240	0·255	0·269	0·283	0·354	0·424	0·566	0·707	0·849
0·35	0·166	0·177	0·187	0·198	0·208	0·260	0·312	0·416	0·520	0·624
0·40	0·127	0·135	0·143	0·151	0·159	0·199	0·239	0·318	0·398	0·477
0·45	0·101	0·107	0·113	0·120	0·126	0·157	0·189	0·252	0·314	0·377
0·50	0·081	0·087	0·092	0·097	0·102	0·127	0·153	0·204	0·255	0·306
0·55	0·067	0·072	0·076	0·080	0·084	0·105	0·126	0·168	0·210	0·253
0·60	0·057	0·060	0·064	0·067	0·071	0·088	0·106	0·141	0·177	0·212
0·65	0·048	0·051	0·054	0·057	0·060	0·075	0·090	0·120	0·151	0·181
0·70	0·042	0·044	0·047	0·049	0·052	0·065	0·078	0·104	0·130	0·156
0·75	0·036	0·038	0·041	0·043	0·045	0·057	0·068	0·091	0·113	0·136
0·80	0·0318	0·0338	0·0358	0·0378	0·0398	0·0497	0·060	0·080	0·099	0·119
0·85	0·0282	0·0299	0·0317	0·0335	0·0352	0·0441	0·053	0·070	0 088	0·106
0·90	0·0251	0·0267	0·0283	0·0299	0·0314	0·0393	0·047	0·063	0·079	0·094
0·95	0·0226	0·0240	0·0254	0·0268	0·0282	0·0353	0·042	0·056	0·071	0·085
1·00	0·0204	0·0216	0·0229	0·0242	0·0255	0·0318	0·038	0·051	0·064	0·076
1·1	0·0168	0·0179	0·0190	0·0200	0·0210	0·0263	0·0316	0·0421	0·0526	0·063
1·2	0·0141	0·0150	0·0159	0·0168	0·0177	0·0221	0·0265	0·0354	0·0442	0·053
1·3	0·0121	0·0128	0·0136	0·0143	0·0151	0·0188	0·0226	0·0301	0·0377	0·045
1·4	0·0104	0·0110	0·0117	0·0123	0·0130	0·0162	0·0195	0·0260	0·0325	0·039
1·5	0·0091	0·0096	0·0102	0·0108	0·0113	0·0141	0·0170	0·0226	0·0283	0·034
1·6	0·0080	0·0085	0·0090	0·0095	0·0099	0·0124	0·0149	0·0199	0·0249	0·0298
1·7	0·0071	0·0075	0·0079	0·0084	0·0088	0·0110	0·0132	0·0176	0·0220	0·0264
1·8	0·0063	0·0067	0·0071	0·0075	0·0079	0·0098	0·0118	0·0157	0·0196	0·0236
1·9	0·0056	0·0060	0·0064	0·0067	0·0071	0·0088	0·0106	0·0141	0·0176	0·0212
2·0	0·0051	0·0054	0·0057	0·0060	0·0064	0·0080	0·0095	0·0127	0·0159	0·0191
2·2	0·00421	0·00447	0·00473	0·00500	0·00526	0·0066	0·0079	0·0105	0·0132	0·0158
2·4	0·00354	0·00376	0·00398	0·00420	0·00442	0·0055	0·0066	0·0088	0·0111	0·0133
2·6	0·00301	0·00320	0·00339	0·00358	0·00377	0·0047	0·0057	0·0075	0·0094	0·0113
2·8	0·00260	0·00274	0·00292	0·00308	0·00325	0·0041	0·0049	0·0065	0·0081	0·0097
3·0	0·00226	0·00240	0 00255	0·00269	0·00283	0·0035	0·0042	0·0057	0·0071	0·0085
3·2	0·00199	0·00211	0·00224	0·00236	0·00249	0·00311	0·00373	0·00497	0·0062	0·0075
3·4	0·00176	0·00187	0·00198	0·00209	0·00220	0·00275	0·00330	0·00441	0·0055	0·0066
3·6	0·00157	0·00167	0·00177	0·00187	0·00196	0·00246	0·00295	0·00393	0·0049	0·0059
3·8	0·00141	0·00150	0·00159	0·00168	0·00177	0·00221	0·00265	0·00353	0·0044	0·0053
4·0	0·00127	0·00135	0·00143	0·00151	0·00159	0·00199	0·00239	0·00318	0·0040	0·0048

1 *m* Draht in Ohm
für specifische Widerstände von 0·016—0·60.

Messing,	Platin,	Eisen		Neusilber etc.				Nickelin, Rheotan, Thermotan, Nickelkupfer		Draht-Durchmesser
0·07	0·08	0·10	0·15	0·20	0·25	0·30	0·40	0·50	0·60	*mm*
36·0	41·0	51·0	76·0	102·0	127·0	153·0	204·0	255·0	306·0	0·05
8·9	10·2	12·7	19·1	25·5	31·8	38·0	51·0	64·0	76·0	0·10
4·0	4·5	5·7	8·5	11·3	14·1	17·0	22·6	28·3	34·0	0·15
2·23	2·55	3·18	4·8	6·4	8·0	9·5	12·7	15·9	19·1	0·20
1·43	1·63	2·04	3·06	4·1	5·1	6·1	8·1	10·2	12·2	0·25
0·99	1·13	1·41	2·12	2·83	3·54	4·24	5·66	7·07	8·49	0·30
0·73	0·83	1·04	1·56	2·08	2·60	3·12	4·16	5·20	6·24	0·35
0·56	0·64	0·80	1·19	1·59	1·99	2·39	3·18	3·98	4·77	0·40
0·44	0·50	0·63	0·94	1·26	1·57	1·89	2·52	3·14	3·77	0·45
0·36	0·41	0·51	0·76	1·03	1·27	1·53	2·04	2·55	3·06	0·50
0·295	0·337	0·421	0·63	0·84	1·05	1·26	1·68	2·10	2·53	0·55
0·248	0·283	0·354	0·53	0·71	0·88	1·06	1·41	1·77	2·12	0·60
0·211	0·241	0·301	0·45	0·60	0·75	0·90	1·21	1·51	1·81	0·65
0·182	0·208	0·260	0·39	0·52	0·65	0·78	1·04	1·30	1·56	0·70
0·158	0·181	0·226	0·34	0·45	0·57	0·68	0·91	1·13	1·36	0·75
0·139	0·159	0·199	0·298	0·398	0·497	0·60	0·80	0·99	1·19	0·80
0·123	0·141	0·176	0·264	0·352	0·441	0·53	0·70	0·88	1·06	0·85
0·110	0·126	0·157	0·236	0·314	0·393	0·47	0·63	0·79	0·94	0·90
0·099	0·113	0·141	0·212	0·282	0·353	0·42	0·56	0·71	0·85	0·95
0·089	0·102	0·127	0·191	0·255	0·318	0·38	0·51	0·64	0·76	1·00
0·074	0·084	0·105	0·158	0·210	0·263	0·316	0·421	0·526	0·63	1·1
0·062	0·071	0·088	0·133	0·177	0·221	0·265	0·354	0·442	0·53	1·2
0·053	0·060	0·075	0·113	0·151	0·188	0·226	0·301	0·377	0·45	1·3
0·045	0·052	0·065	0·097	0·130	0·162	0·195	0·260	0·325	0·39	1·4
0·040	0·045	0·057	0·085	0·113	0·141	0·170	0·226	0·283	0·34	1·5
0·0348	0·0398	0·0497	0·075	0·099	0·124	0·149	0·199	0·249	0·298	1·6
0·0308	0·0352	0·0441	0·066	0·088	0·110	0·132	0·176	0·220	0·264	1·7
0·0275	0·0314	0·0393	0·059	0·079	0·098	0·118	0·157	0·196	0·236	1·8
0·0247	0·0282	0·0353	0·033	0·071	0·088	0·106	0·141	0·176	0·212	1·9
0·0223	0·0255	0·0318	0·048	0·064	0·080	0·095	0·127	0·159	0·191	2·0
0·0184	0·0210	0·0263	0·0395	0·0526	0·066	0·079	0·105	0·132	0·158	2·2
0·0155	0·0177	0·0221	0·0332	0·0442	0·055	0·066	0·088	0·111	0·133	2·4
0·0132	0·0151	0·0188	0·0283	0·0377	0·047	0·057	0·075	0·094	0·113	2·6
0·0114	0·0130	0·0162	0·0244	0·0325	0·041	0·049	0·065	0·081	0·097	2·8
0·0099	0·0113	0·0141	0·0212	0·0283	0·035	0·042	0·057	0·071	0·085	3·0
0·0087	0·0100	0·0124	0·0187	0·0249	0·0311	0·0373	0·0497	0·062	0·075	3·2
0·0077	0·0088	0·0110	0·0165	0·0220	0·0275	0·0330	0·0441	0·055	0·066	3·4
0·0069	0·0079	0·0098	0·0147	0·0196	0·0246	0·0295	0·0393	0·049	0·059	3·6
0·0062	0·0071	0·0088	0·0133	0·0177	0·0221	0·0265	0·0353	0·044	0·053	3·8
0·0056	0·0064	0·0080	0·0119	0·0159	0·0199	0·0239	0·0318	0·040	0·048	4·0

Länge eines Drahtes von
für Drahtdurchmesser von 0·05—4·0 *mm* und

Draht-Durch-messer	Kupfer					Phosphor- und Siliciumbronce				
mm	0·016	0·017	0·018	0·019	0·020	0·025	0·030	0·04	0·05	0·06
0·05	0·123	0·115	0·109	0·103	0·098	0·079	0·065	0·049	0·039	0·0327
0·10	0·49	0·46	0·44	0·41	0·39	0·314	0·262	0·196	0·157	0·131
0·15	1·11	1·04	0·98	0·93	0·88	0·71	0·59	0·44	0·35	0·295
0·20	1·96	1·85	1·75	1·65	1·57	1·26	1·05	0·79	0·63	0·52
0·25	3·07	2·89	2·73	2·58	2·45	1·96	1·64	1·23	0·98	0·82
0·30	4·4	4·2	3·9	3·7	3·5	2·83	2·36	1·77	1·41	1·18
0·35	6·0	5·7	5·3	5·1	4·8	3·85	3·21	2·41	1·92	1·60
0·40	7·9	7·4	7·0	6·6	6·3	5·03	4·19	3·14	2·51	2·09
0·45	9·9	9·3	8·8	8·4	8·0	6·36	5·30	3·98	3·18	2·65
0·50	12·3	11·5	10·9	10·3	9·8	7·85	6·54	4·91	3·93	3·27
0·55	14·9	14·0	13·2	12·5	11·9	9·5	7·9	5·9	4·8	4·0
0·60	17·6	16·6	15·7	14·9	14·1	11·3	9·4	7·1	5·7	4·7
0·65	20·7	19·5	18·4	17·4	16·6	13·3	11·1	8·3	6·6	5·5
0·70	24·0	22·6	21·4	20·2	19·2	15·4	12·8	9·6	7·7	6·4
0·75	27·6	26·0	24·6	23·2	22·1	17·7	14·7	11·0	8·8	7·4
0·80	31·4	29·6	28·0	26·4	25·1	20·1	16·8	12·6	10·1	8·4
0·85	35·4	33·3	31·5	29·8	28·4	22·7	18·9	14·2	11·4	9·5
0·90	39·8	37·4	35·4	33·5	31·8	25·4	21·2	15·9	12·7	10·6
0·95	44·3	41·7	39·4	37·3	35·4	28·4	23·6	17·7	14·2	11·8
1·00	49·1	46·2	43·6	41·3	39·3	31·4	26·2	19·6	15·7	13·1
1·1	59·0	56·0	53·0	50·0	48·0	38·0	31·7	23·8	19·0	15·8
1·2	71·0	66·0	63·0	59·0	57·0	45·0	37·7	28·3	22·6	18·8
1·3	83·0	78·0	74·0	70·0	66·0	53·0	44·2	33·2	26·5	22·1
1·4	96·0	90·0	86·0	81·0	77·0	62·0	51·3	38·5	30·8	25·7
1·5	110·0	104·0	98·0	93·0	88·0	71·0	58·9	44·2	35·3	29·5
1·6	126·0	118·0	112·0	106·0	101·0	80·0	67·0	50·0	40·0	33·5
1·7	142·0	133·0	126·0	119·0	113·0	91·0	76·0	57·0	45·0	37·8
1·8	159·0	149·0	141·0	134·0	127·0	102·0	85·0	64·0	51·0	42·4
1·9	177·0	166·0	158·0	149·0	142·0	113·0	95·0	71·0	57·0	47·3
2·0	196·0	185·0	175·0	165·0	157·0	126·0	105·0	79·0	63·0	52·4
2·2	237·0	223·0	211·0	199·0	190·0	152·0	127·0	95·0	76·0	63·0
2·4	283·0	266·0	251·0	238·0	226·0	181·0	151·0	113·0	90·0	75·0
2·6	332·0	312·0	295·0	279·0	265·0	212·0	177·0	133·0	106·0	88·0
2·8	385·0	362·0	342·0	324·0	308·0	246·0	205·0	154·0	123·0	103·0
3·0	442·0	416·0	393·0	372·0	353·0	283·0	236·0	177·0	141·0	118·0
3·2	503·0	473·0	447·0	423·0	402·0	322·0	268·0	201·0	161·0	134·0
3·4	567·0	534·0	505·0	478·0	454·0	363·0	303·0	227·0	182·0	151·0
3·6	637·0	598·0	565·0	535·0	509·0	407·0	339·0	254·0	204·0	170·0
3·8	708·0	666·0	630·0	596·0	567·0	454·0	378·0	284·0	227·0	189·0
4·0	785·0	738·0	698·0	660·0	628·0	503·0	419·0	314·0	251·0	209·0

1 Ohm Widerstand in Metern
für specifische Widerstände von 0·016—0·60.

Messing, Platin, Eisen					Neusilber etc.		Nickelin, Rheotan, Thermotan, Nickelkupfer			Draht-Durchmesser
0·07	0·08	0·10	0·15	0·20	0·25	0·30	0·40	0·50	0·60	*mm*
0·0280	0·0245	0·0196	0·0131	0·0098	0·0079	0·0065	0·0049	0·0039	0·0033	0·05
0·112	0·098	0·079	0·052	0·039	0·0314	0·0262	0·0196	0·0157	0·0131	0·10
0·252	0·221	0·177	0·118	0·088	0·071	0·059	0·044	0·035	0·0295	0·15
0·45	0·39	0·314	0·209	0·157	0·126	0·105	0·079	0·063	0·052	0·20
0·70	0·61	0·49	0·327	0·245	0·196	0·164	0·123	0·098	0·082	0·25
1·01	0·88	0·71	0·47	0·35	0·283	0·236	0·177	0·141	0·118	0·30
1·37	1·20	0·96	0·64	0·48	0·385	0·321	0·241	0·192	0·160	0·35
1·80	1·57	1·26	0·84	0·63	0·503	0·419	0·314	0·251	0·209	0·40
2·27	1·99	1·59	1·06	0·80	0·636	0·530	0·398	0·318	0·265	0·45
2·80	2·45	1·96	1·31	0·98	0·785	0·654	0·491	0·393	0·327	0·50
3·4	2·97	2·38	1·58	1·19	0·95	0·79	0·59	0·48	0·40	0·55
4·0	3·53	2·83	1·88	1·41	1·13	0·94	0·71	0·57	0·47	0·60
4·7	4.15	3·32	2·21	1·66	1·33	1·11	0·83	0·66	0·55	0·65
5·5	4·81	3·85	2·57	1·92	1·54	1·28	0·96	0·77	0·64	0·70
6·3	5·52	4·42	2·95	2·21	1·77	1·47	1·10	0·88	0·74	0·75
7·2	6·3	5·0	3·35	2·51	2·01	1·68	1·26	1·01	0·84	0·80
8·1	7·1	5·7	3·78	2·84	2·27	1·89	1·42	1·14	0·95	0·85
9·1	8·0	6·4	4·24	3·18	2·54	2·12	1·59	1·27	1·06	0·90
10·1	8·9	7·1	4·73	3·54	2·84	2·36	1·77	1·42	1·18	0·95
11·2	9·8	7·9	5·24	3·93	3·14	2·62	1·96	1·57	1·31	1·00
13·6	11·9	9·5	6·30	4·80	3·80	3·17	2·38	1·90	1·58	1·1
16·2	14·1	11·3	7·50	5·70	4·50	3·77	2·83	2·26	1·88	1·2
19·0	16·6	13·3	8·8	6·6	5·3	4·42	3·32	2·65	2·21	1·3
22·0	19·2	15·4	10·3	7·7	6·2	5·13	3·85	3·08	2·57	1·4
25·2	22·1	17·7	11·8	8·8	7·1	5·89	4·42	3·53	2·95	1·5
28·7	25·1	20·1	13·4	10·1	8·0	6·7	5·0	4·0	3·35	1·6
32·4	28·4	22·7	15·1	11·3	9·1	7·6	5·7	4·5	3·78	1·7
36·4	31·8	25·4	17·0	12·7	10·2	8·5	6·4	5·1	4·24	1·8
40·5	35·4	28·4	18·9	14·2	11·3	9·5	7·1	5·7	4·73	1·9
44·9	39·3	31·4	20·9	15·7	12·6	10·5	7·9	6·3	5·24	2·0
54·0	48·0	38·0	25·3	19·0	15·2	12·7	9·5	7·6	6·3	2·2
65·0	57·0	45·0	30·2	22·6	18·1	15·1	11·3	9·0	7·5	2·4
76·0	66·0	53·0	35·4	26·5	21·2	17·7	13·3	10·6	8·8	2·6
88·0	77·0	62·0	41·1	30·8	24·6	20·5	15·4	12·3	10·3	2·8
101·0	88·0	71·0	47·1	35·3	28·3	23·6	17·7	14·1	11·8	3·0
115·0	101·0	80·0	54·0	40·0	32·2	26·8	20·1	16·1	13·4	3·2
130·0	113·0	91·0	61·0	45·0	36·3	30·3	22·7	18·2	15·1	3·4
145·0	127·0	102·0	68·0	51·0	40·7	33·9	25·4	20·4	17·0	3·6
162·0	142·0	113·0	76·0	57·0	45·4	37·8	28·4	22·7	18·9	3·8
180·0	157·0	126·0	84·0	63·0	50·3	41·9	31·4	25·1	20·9	4·0

Spannungsverlust
Spannungsverlust

Querschnitt in mm^2	0·5	1	1·5	2	2·5	3
5·50	147·9	295·7	443·6	591·4	739·0	887·1
10·0	263·8	537·6	801·4	1075·0	1339·0	1613·0
12·37	332·5	665·1	997·6	1330·0	1662·0	1995·0
16·0	430·1	860·2	1290·0	1720·0	2150·0	2581·0
21·99	591·1	1182·0	1773·0	2365·0	2956·0	3547·0
25·0	672·0	1344·0	2016·0	2688·0	3360·0	4032·0
33·57	902·4	1805·0	2707·0	3610·0	4512·0	5415·0
35·0	940·9	1882·0	2823·0	3763·0	4704·0	5645·0
50·0	1344·0	2881·0	4032·0	5376·0	6720·0	8065·0
59·70	1605·0	3210·0	4815·0	6419·0	8024·0	9629·0
70·0	1882·0	3763·0	5645·0	7526·0	9408·0	11290·0
95·0	2554·0	5108·0	7662·0	10220·0	12770·0	15320·0
100·87	2922·0	5844·0	8766·0	11690·0	14610·0	17530·0
120·0	3226·0	6451·0	9678·0	12900·0	16130·0	19350·0
150·0	4032·0	8064·0	12100·0	16130·0	20160·0	24190·0
152·82	4108·0	8216·0	12320·0	16430·0	20540·0	24650·0
185·0	4973·0	9946·0	14920·0	19890·0	24870·0	29840·0
204·29	5492·0	10980·0	16480·0	21970·0	27460·0	32950·0
240·0	6452·0	12900·0	19360·0	25810·0	32260·0	38710·0
261·55	7031·0	14060·0	21090·0	28120·0	35160·0	42190·0
310·0	8314·0	16630·0	24940·0	33260·0	41570·0	49870·0
355·98	9570·0	19140·0	28710·0	38280·0	47850·0	57410·0
400·0	10750·0	21510·0	32260·0	43010·0	53750·0	64520·0
464·94	12500·0	25000·0	37500·0	49990·0	62500·0	74990·0
500·0	13440·0	26880·0	40320·0	53760·0	67200·0	80650·0
588·46	15820·0	31640·0	47460·0	63280·0	79100·0	94910·0
621·0	16690·0	33390·0	50080·0	66770·0	83450·0	100200·0
726·50	19520·0	39050·0	58570·0	78100·0	97600·0	117100·0
800·0	21510·0	43010·0	64520·0	86020·0	107600·0	132000·0
1000·0	26880·0		80640·0	107500·0	134400·0	161300·0

Meter-Ampère.

Die mit Decimalstellen versehenen Querschnitte entsprechen Kabeln
Der Widerstandscoëfficient des Kupfers ist zu 1·86 Mikroohm *cm.*
Temperatur von etwa

in Kupferkabeln.

in Volt.

4	6	8	10	12	15	20
1183	1774	2366	2957	3548	4436	5914
2150	3226	4300	5376	6452	8014	10750
2660	3990	5320	6651	7980	9976	13300
3440	5162	6880	8602	10320	12900	17200
4730	7094	9460	11820	14190	17730	23650
5376	8064	10750	13440	16130	20160	26880
7220	10830	14440	18050	21660	27070	36100
7526	11390	15050	18170	22780	28230	37630
10750	16130	21500	26880	32260	40320	53760
12840	19260	25680	32100	38520	48150	64190
15050	22580	30100	37630	45160	56450	75260
20430	30640	40860	51080	61280	76620	102200
23380	35060	46760	58440	70120	87660	116900
25810	38700	51620	64520	77400	96780	129000
32260	48380	64520	80650	96760	121000	161300
32860	49300	65720	82160	98600	123200	164300
39780	59680	79560	99460	119400	149200	198900
43930	65900	87860	109800	121800	164800	219700
51610	77420	103200	129000	154800	193600	258100
56250	84380	112500	140600	168800	210900	281200
66510	99740	133000	166300	199500	249400	332600
76560	114800	153100	191400	229600	287100	382800
86020	129000	172000	215100	258000	322600	430100
79990	150000	200000	250000	300000	375000	499900
107500	161300	215000	268800	322600	403200	537600
126600	189800	253200	316400	379600	474600	632800
133500	200400	267000	333900	400800	500800	667700
146200	234200	292400	390500	468400	585700	781000
172000	264000	344000	430100	528000	645200	860200
215100	322600	430200	537600	645200	806400	1075000

Meter-Ampère.

von Felten & Guilleaume, die anderen solchen von Siemens & Halske.
angenommen, was bei einer Leitungsfähigkeit von 57·1 (0° C.) einer
34° C. entspricht.

Tabelle zur Anfertigung von Stromregulatoren aus Nickelindraht.
(spec. W. = 0·45 Ω F. A. Lange.)

Durchmesser	Widerstand in Ω für 1 *m*	Länge für 1 Ω	Zulässige Beanspruchung in A
0·10	57·0	17·5 *mm*	0·1
0·15	25·5	39·0	0·2
0·20	14·3	70·0	0·3
0·25	9·3	108·0	0·45
0·30	6·3	159·0	0·6
0·35	4·7	213·0	0·75
0·40	3·3	300·0	1·0
0·45	2·8	360·0	1·05
0·50	2·3	440·0	1·2
0·55	1·9	530·0	1·4
0·60	1·6	630·0	1·6
0·65	1·36	740·0	1·8
0·70	1·17	860·0	2·0
0·75	1·02	980·0	2·25
0·80	0·89	1·12 *m*	2·5
0·85	0·80	1·25	2·75
0·90	0·71	1·41	3·00
0·95	0·63	1·59	3·25
1·0	0·57	1·75	3·5
1·1	0·47	2·11	4·0
1·4	0·29	3·42	5·8
1·6	0·22	4·5	7·0
1·7	0·20	5·0	7·8
1·8	0·18	5·7	8·5
1·9	0·16	6·3	9·2
2·0	0·14	7·0	10·0
2·2	0·12	8·4	11·5
2·4	0·10	10·1	13·2
2·6	0·085	11·8	14·8
2·8	0·073	13·7	16·6
3·0	0·064	15·7	18·4

Die zulässige Stromstärke wird für beliebige Stärken nach der Formel $i = \sqrt{r^3}$ gefunden, wobei r den Radius des Drahtes in *mm* bedeutet. Den Radius für eine Stromstärke berechnet man nach der Formel

$$r = \sqrt[3]{\frac{i^2}{100}}.$$

Namen- und Sachverzeichnis.

Die Namen, Firmen und Zeitschriften sind gesperrt gesetzt.

K. und K. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.

